تقنية التحكم الآلي- نظري

أساسيات التحكم الآلي

الوحدة الأولى: أساسيات التحكم الآلي

الأهداف:

بعد انتهائك من دراسة هذه الوحدة تكون قادرا على:

- تعريف تكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي.
- ذكر بعض مجالات تطبيق تكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي.
- معرفة مكونات منظومة التحكم الأساسية.
- معرفة المخطط الصندوقي ومكوناته
- معرفة كيفية بناء المخطط الصندوقي
- التعرف على نظريات تحويل المخطط الصندوقي
- معرفة مخطط تدفق الإشارة وكذلك معرفة أساسياته.
- التعرف على قواعد مخطط تدفق الإشارة (قاعدة ماسون)
- معرفة تصنيف أنظمة التحكم الآلي والمقارنة بينهما.
- معرفة تبسيط المخططات الصندوقية المعقدة.

١- ١. مقدمة - Introduction

نظام التحكم (Control-System) هو عبارة عن عدة عناصر تعمل معا لتشكل وظيفة معينة. أي أنه يمكن القول بأن نظام التحكم عبارة عن مجموعة من المكونات التي تستجيب لإشارة. استجابة هذه المكونات تعطى لأداء الوظيفة المعينة. في معظم الحالات تكون هذه الوظيفة تحكم في متغير طبيعي مثل (السرعة- درجة الحرارة- الإزاحة- الجهد أو الضغط). وتكون الإشارة التي تجعل هذه المكونات تعمل للقيام بالوظائف المطلوبة منها تسمى إشارة التشغيل.

إن للتحكم الآلي دورا أساسيا في تقدم الهندسة والعلوم الحديثة. وبالإضافة إلى أهميته القصوى في سفن الفضاء وتوجيه الصواريخ والطيران، فأن تطبيقات التحكم الآلي أصبحت جزءا هاما ومكملاً لمختلف الصناعات الهندسية، مثل:

محطات توليد الطاقة الكهربائية وتحلية المياه،

مصافي تكرير النفط،

مصانع تعبئة قارورات الغاز،

مصانع تعبئة المواد الغذائية،

صناعة السيارات،

مصانع الإسمنت،

الملاحة الجوية والبحرية

التطبيقات العسكرية...

كما أن لنظم التحكم دور كبير في أنظمة القوى الكهربية والتي تعتبر من أكبر الأنظمة الصناعية التي صنعها الإنسان، فالتحكم في الشبكات والآلات والأحمال يعتبر عاملاً أساسياً لضمان تشغيل هذه الأنظمة التشغيل الاقتصادي والأمثل. ومن الأمثلة لتطبيقات نظم التحكم في مجال الكهرباء:

التبريد والتكييف،

التدفئة والأفران،

الغسالات والنشافات....

ولقد أصبحت مفاهيم التحكم الآلي التي كانت حكرا على التقنيين والمهندسين، تستخدم في شتى مجالات المعرفة مثل علوم الأحياء والاقتصاد والاجتماع والتربية فضلا عن أنظمة النقل (Transportation

Systems) والتخطيط العمراني (Urban Planning) والبيئة (Environment). ومن الجدير بالذكر أن التطور الكبير الذي نشهده حاليا في تكنولوجيا الحاسبات الإلكترونية (Computers) والإنسان الآلي (Robot) له أثر كبير على تزايد تطبيقات أنظمة التحكم المتقدمة في كثير من المجالات.

١- ٢. مكونات منظومة التحكم الأساسية (Common Control System's Components):

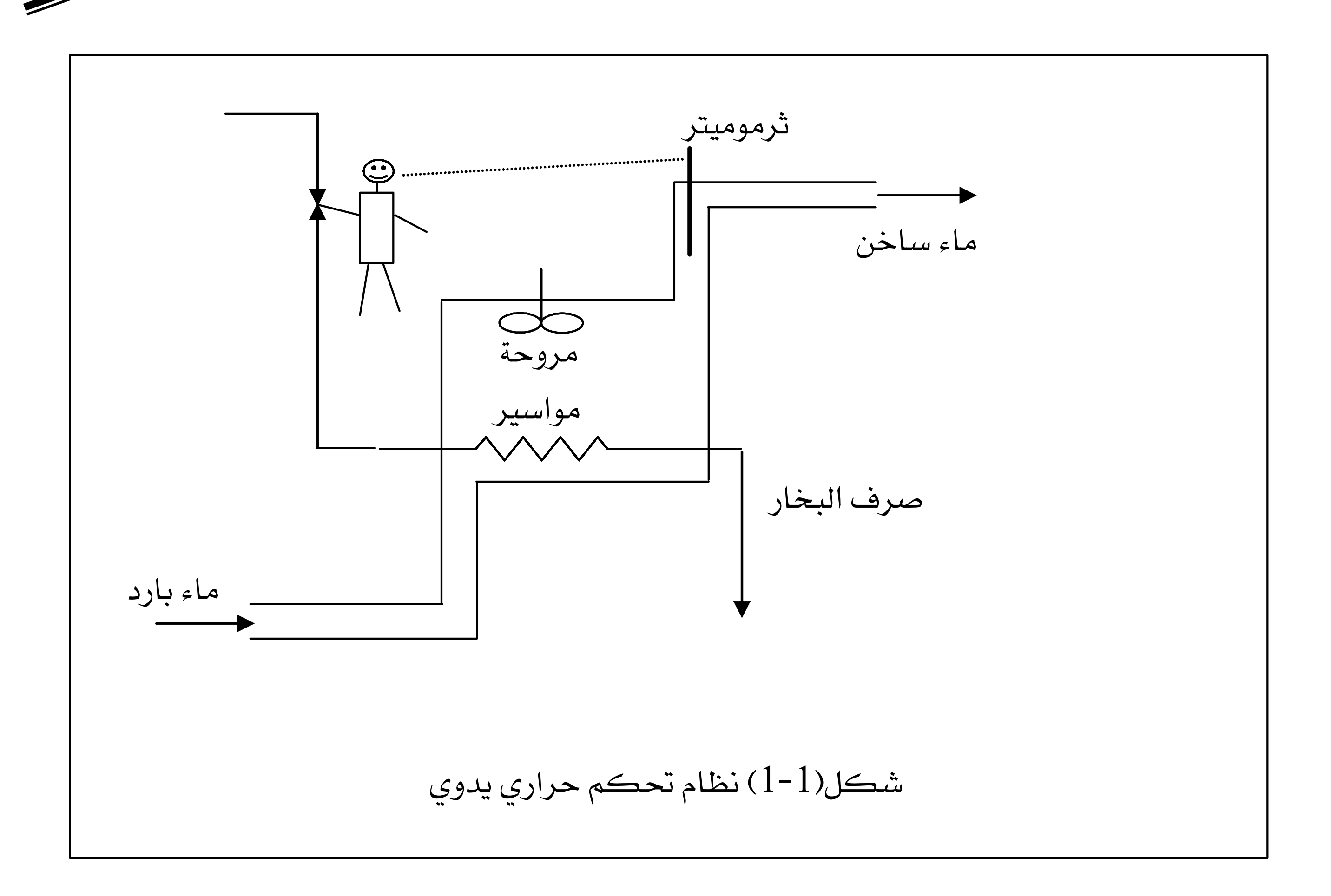
الدخل (Input): هو المتغير الذي يعطى إلى النظام بقصد التحكم فيه أو تغيير حالته.
الخرج(Output): هو الكمية أو المتغير المراد التحكم فيه والتي تتأثر بتغير الدخل.
الخطأ(Error): هو كمية عبارة عن الفرق بين إشارة الدخل (Input) وإشارة الخرج (Output). ويسمى كذلك بعنصر المقارنة لأنه يقوم بمقارنة الإشارتين السابقتين.
المرجع (Reference): هي إشارة خارجية تطبق على نظام التحكم وذلك لغرض اختبار النظام المتحكم فيه ووصوله إلى هذه الإشارة.

١- ٣. أمثلة توضيحية لأنظمة التحكم (Illustrative Examples of Control Systems):

فيما يلي نعطي وصفا مبسطا لبعض أنظمة التحكم بهدف توضيح فكرة التحكم ذات التغذية الخلفية:

مثال (١-١) التحكم اليدوي لنظام حراري:

شكل (١-١) يبين نظام تحكم يدوى ذات تغذية خلفية للتحكم في درجة حرارة نظام حراري عبارة عن عملية تسخين مياه عن طريق إمرارها في وعاء يحتوي على مواسير يمر بها بخار ماء ساخن بدرجة حرارة عالية حيث تتم في هذا الوعاء عملية تبادل حراري بين البخار الساخن والمياه الباردة فترتفع درجة حرارة المياه. وتستخدم المروحة المبينة في الشكل لتقليب المياه داخل الوعاء لرفع كفاءة التبادل الحراري وضمان توزيع درجة الحرارة بانتظام خلال المياه .
ويتم قياس درجة حرارة المياه عن طريق الترمومتر ويقوم الإنسان بمراقبة درجة الحرارة ومقارنتها بدرجة الحرارة المطلوبة. فإذا وجد أن درجة الحرارة المقاسة (خرج نظام التحكم) أقل من المطلوب يقوم بزيادة فتحة صمام البخار ليسمح بمرور كمية أكبر من البخار الساخن

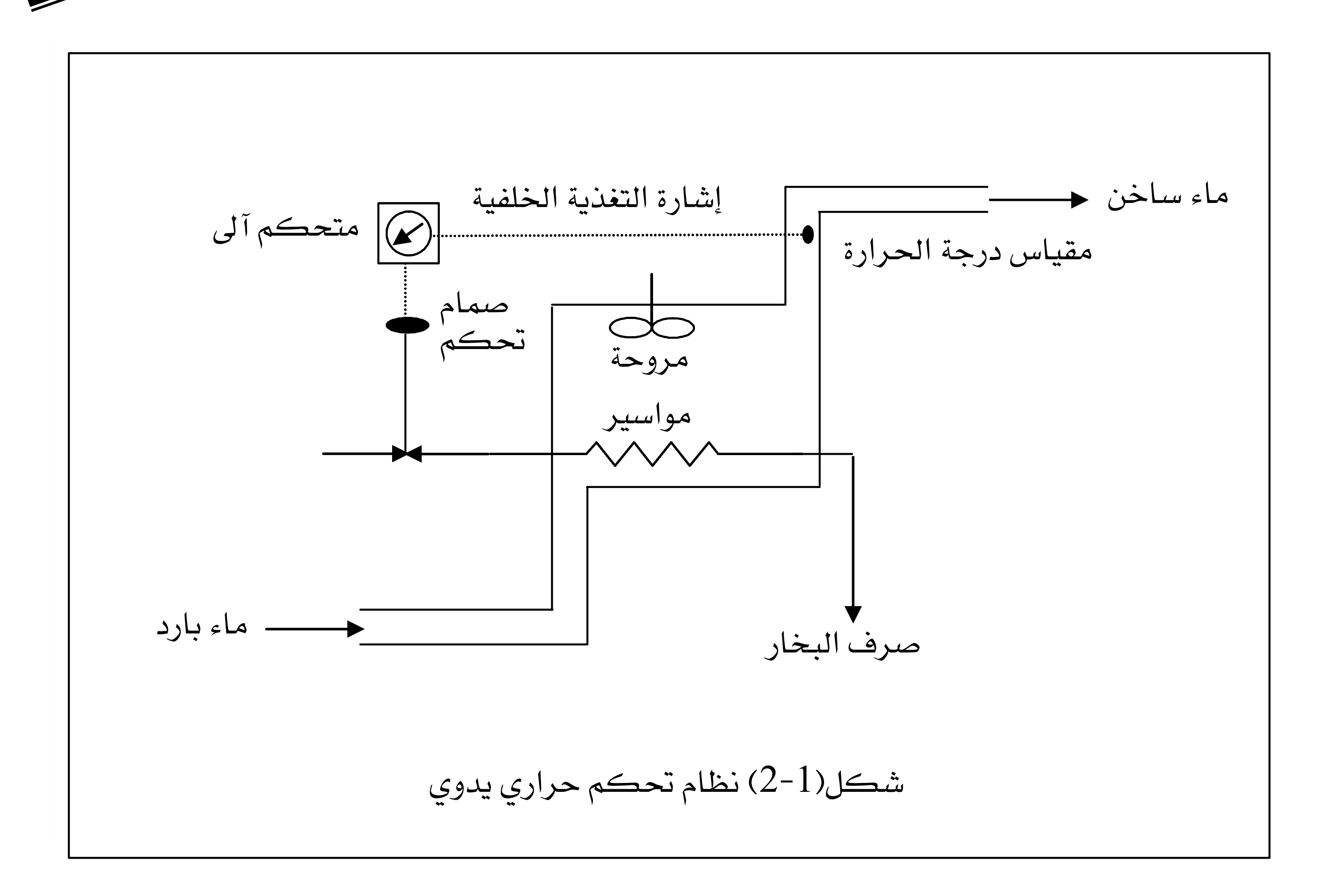


شكل(1-1) نظام تحكم حراري يدوي

وبذلك ترتفع درجة حرارة المياه . وإذا لاحظ أن درجة حرارة المياه أكثر من اللازم يقوم بتقليل فتحة صمام البخار. وبذلك يتم التحكم هنا عن طريق الإنسان ولهذا يسمى تحكماً يدوياً.

مثال (1-2) التحكم الآلي للنظام الحراري:

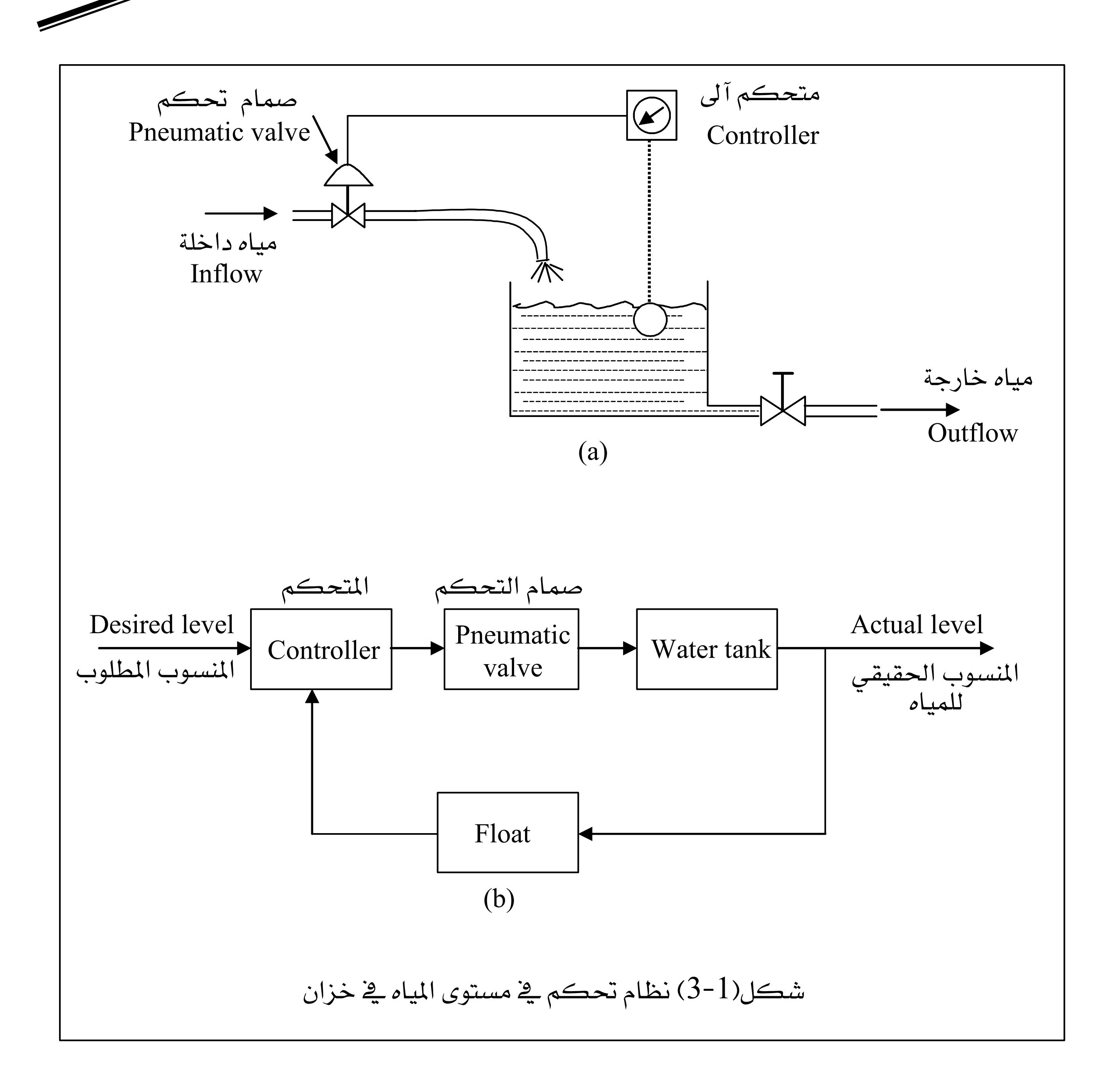
حيث تم هنا استخدام آلات للقيام بعملية التحكم بدلا من الإنسان كما هو موضح في الشكل رقم (1-2) والمطلوب من الآلات هنا تحديد درجة حرارة المياه. ومقارنتها بدرجة الحرارة المطلوبة وإذا وجد أي خلاف يقوم المتحكم الآلي بتحريك صمام البخار لإعادة ضبط درجة الحرارة إلى القيمة المطلوبة.
ويلاحظ أن مقياس الحرارة هنا يختلف عن الترمومتر العادي الذي يبين درجة الحرارة ويمكن معرفتها بالنظر. ففي التحكم الآلي تقاس درجة الحرارة وتحول إلى إشارة يمكن مقارنتها بالدخل المقارن (وهو درجة الحرارة المطلوبة). ويمكن أن يتم ذلك عن طريق تحويل درجات الحرارة المقاسة والمطلوبة إلى فروق جهد يمكن مقارنتها مباشرة والفرق بينهما يمكن استخدامه بواسطة المتحكم للتحكم في فتحة صمام البخار عن طريق محرك كهربائي مثلا.



شكل(1-2) نظام تحكم حراري يدوي

مثال(1-3) نظام تحكم في مستوى المياه في خزان:

كما هو مبين بالشكل (a3-1) يتم قياس منسوب المياه (خرج النظام) عن طريق عوامة ويقوم المتحكم بمقارنه المنسوب الحقيقي للمياه بالمنسوب المطلوب (الدخل المقارن) وفي حالة وجود أي خزان يتم فتح صمام التحكم في دخول المياه. وإذا كان لدينا ارتفاع معين للماء في الخزان وأن كمية المياه الخارجة للمستهلكين مساوية لكمية المياه الداخلة فإن النظام يكون مستقراً في هذه الحالة. وإذا حدث تغيير في كمية المياه الخارجة مثلا (اضطراب خارجي) يتغير ارتفاع منسوب المياه في الخزان وعليه يتغير وضع العوامة وبذلك يعمل المتحكم على تغيير فتحة صمام التحكم في المياه الداخلة لإعادة ضبط ارتفاع المياه في الخزان.

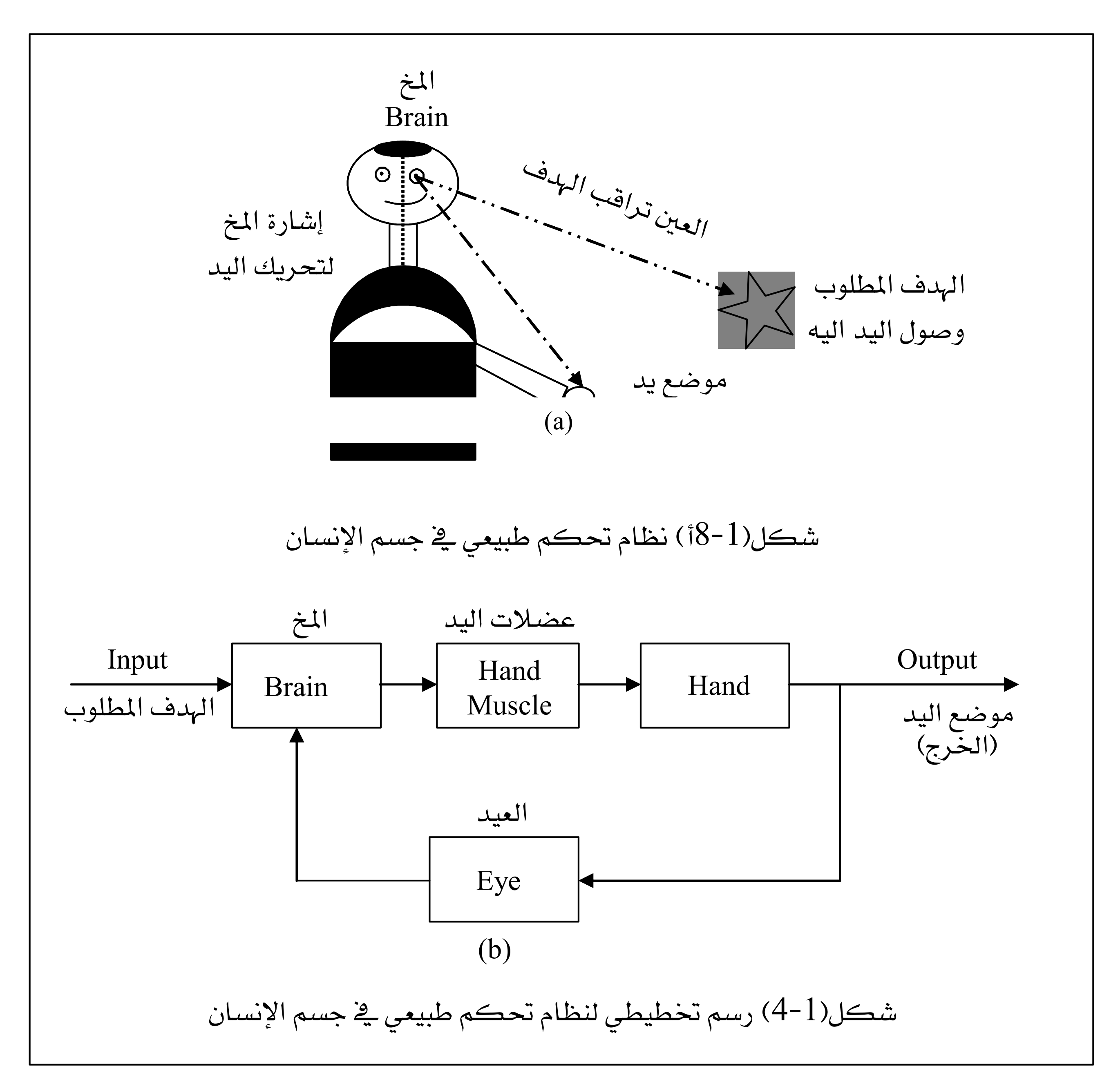


شكل(3-1) نظام تحكم في مستوى المياه في خزان

الشكل (b3-1) يبين رسما تخطيطيا لنظام التحكم في منسوب للمياه وهذا النظام ذو التغذية الخلفية يمثل كل جزء منه بصندوق وبين خطوط التوصيل والأسهم مسارات إشارات التحكم والدخل والخرج والتغذية الخلفية.

مثال (4-1) نظام تحكم بيولوجي (تحكم طبيعي في جسم الإنسان):

يبين هذا النظام في الشكل (a4-1) والمطلوب فيه هو وصول اليد إلى التقاط شيء معين (هدف) يتم تحديد مكان الهدف في المخ ويقوم المخ بإرسال إشارات تحكم إلى اليد والعضلات حيث تقوم العضلات بتكبير إشارات التحكم وتتحرك اليد للوصول للهدف حيث تراقب العين حركة اليد وتغذى هذه المعلومة إلى المخ الذي تتم فيه مقارنة الخرج (وهو موضع اليد) بالدخل (وهو الهدف المطلوب الوصول إليه) وفي حالة وجود فرق بين الدخل والخرج يرسل المخ إشارات تحكم لليد عن طريق العضلات وتستمر هذه الحركة حتى يتم الوصول إلى الهدف. ويبين الشكل (b4-1) رسماً تخطيطياً لهذا النظام.



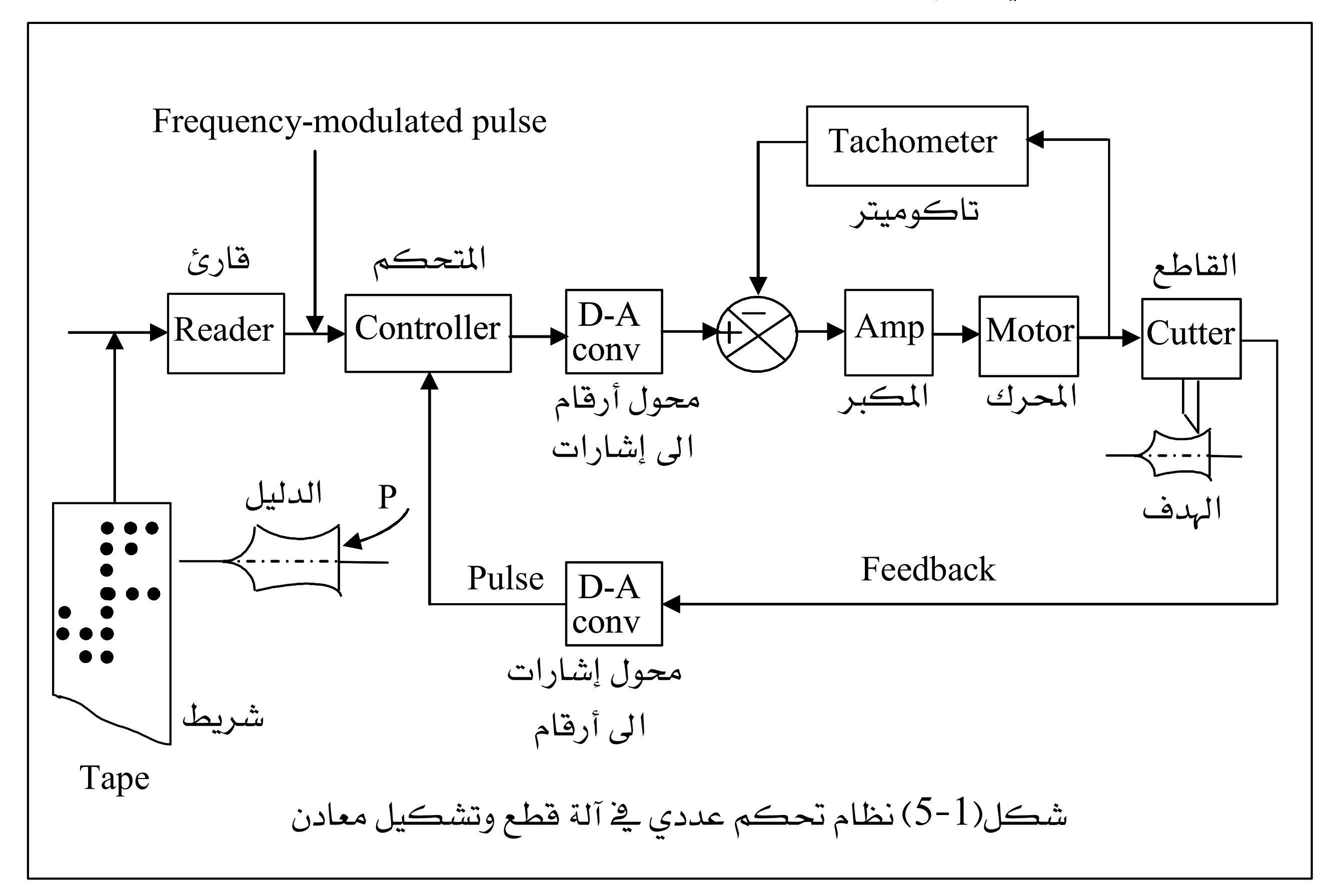
شكل(1-8أ) نظام تحكم طبيعي في جسم الإنسان

شكل(1-4) رسم تخطيطي لنظام تحكم طبيعي في جسم الإنسان

مثال (1-5) نظام تحكم في آلة قطع وتشكيل معادن :

يبين الشكل (1-5) التحكم العددي (Numerical Control) في آلة قطع وتشكيل معادن وهو طريقة للتحكم في حركة أجزاء الماكينات باستخدام الأعداد (Numbers). ويتم التحكم في حركة رأس القطع عن طريق بيانات (إعداد ثانية) محفوظة على شريط. وبعد إعداد الشريط ليمثل الشكل المطلوب لمعدن يغذى هذا الشريط إلى القارئ (Reader). يقوم نظام التحكم بمقارنة هذا الدخل المطلوب بإشارة التغذية الخلفية الممثلة للموضع الحقيقي لرأس القطع. ويقوم المتحكم بإجراء حسابات خاصة على الفرق

بـين الخـرج والـدخل (والمقصـود بـالخرج هنـا هـو موضـع رأس القطـع) ثـم يرسـل المـتحكم إشـاراته بعـد تكبيرها إلى المحرك الذي يقوم بدوره بتحريك رأس القطع.



شكل(1-5) نظام تحكم عددي في آلة قطع وتشكيل معادن

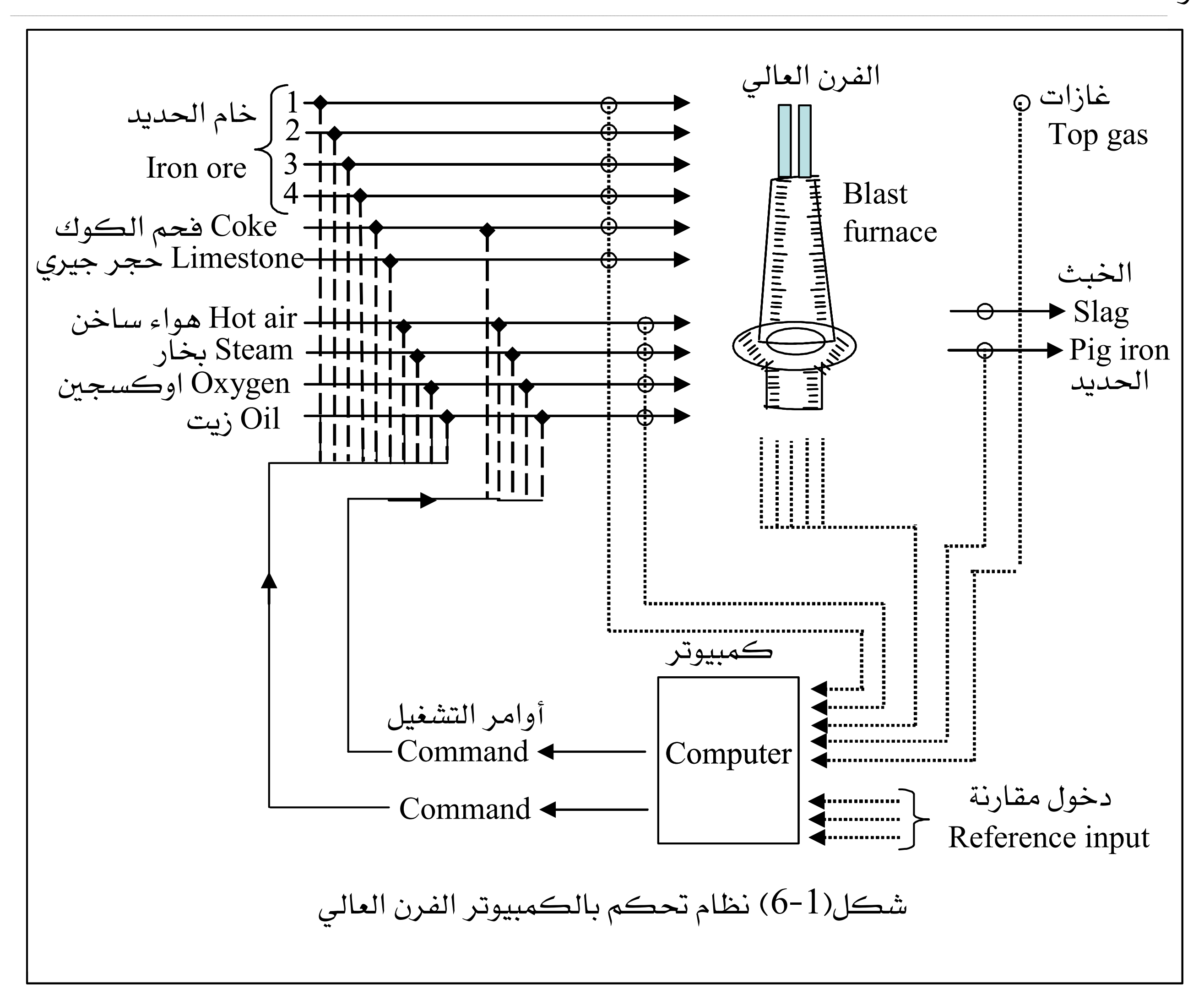
ونظرا لأن المتحكم هنا عددي فإن إشارات التغذية الخلفية تحول أولا إلى أعداد قبل تغذيتها إلى المتحكم وذلك عن طريق (Analog to Digital Converter) وخرج المتحكم العددي يحول كذلك إلى إشارات عن طريق جهاز (Digital to Analog Converter) ويلا حظ في هذا الرسم وجود خط تغذية خلفية داخلي لمتحكم في سرعة دوران المحرك. ويتميز هذا النوع من التحكم العددي بأن الأجزاء المعقدة يمكن إنتاجها وتشكيلها بمواصفات دقة موحدة وبأعلى سرعة لماكينات القطع.

مثال(1-6) نظام التحكم في إشارات المرور:

التحكم في مرور السيارات بالشوارع عن طريق إشارات المرور التي تعمل على أساس توقيت زمن محدد يعتبر نظام تحكم ذا دائرة مفتوحة. أما إذا تم تحديد عدد السيارات التي تنتظر عند الإشارات و تغذية هذه المعلومات إلى كمبيوتر تحكم مركزي فإنه يمكن تنظيم حركة المرور بطريقة أفضل وذلك بتغيير زمن فتح و إغلاق الإشارات عن طريق إشارات تحكم تأتي من مركز التحكم.

مثال (1-7) نظام تحكم بالكمبيوتر الفرن العالي :

يبين الشكل(1-6) رسما تخطيطيا لنظام تحكم بكمبيوتر الفرن العالي. ويعتبر الفرن العالي (blast furnace) منشأ ضخماً يصل ارتفاعه إلى ٣٥ متر ويصل إنتاج الأفران الحديثة من الحديد لأكثر من ٤٠٠٠ طن في اليوم ونظرا لطبيعة هذه الصناعة فإن تشغيل الفرن يكون مستمرا لأوقات طويلة (عدة سنوات).



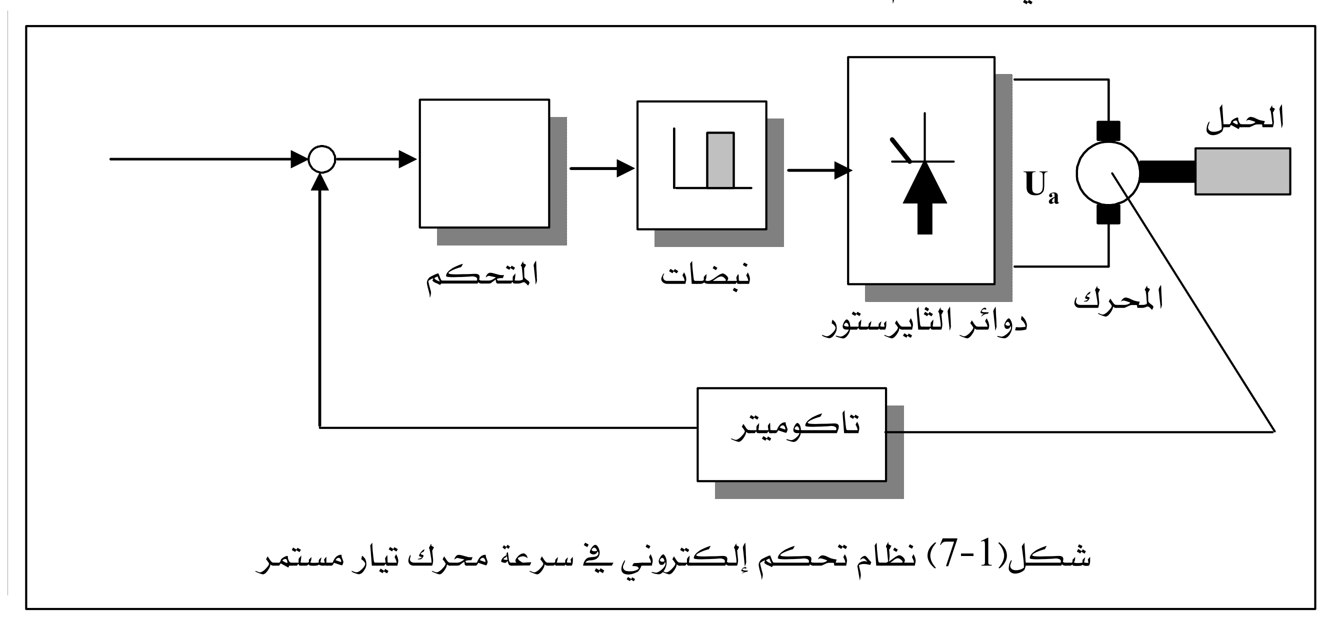
شكل(1-6) نظام تحكم بالكمبيوتر الفرن العالي

تعتمد نظرية عمل هذا النظام على تعبئة المكونات الأساسية (الحديد الخام والحجر الجيري وفحم الكوك) من أعلى الفرن بكميات ونسب محددة. كذلك يسخن الهواء ويدفع إلى الفرن وتنتج الحرارة في الفرن بحرق فحم الكوك حيث ينتج عنه غاز أول أوكسيد الكربون. ولكن هذا الغاز وكذلك فحم الكوك يعملان على تقليل عملية انصهار الحديد الخام بينما يعمل الحجر الجيري كمساعد للصهر ويقوم بإزالة الخبث والشوائب ويتجمع الحديد المنصهر في قاع الفرن بينما يتجمع الخبث السائل على السطح. ويتم تصريف الحديد المنصهر والخبث السائل بصفة دورية من فتحات خاصة ونظرا لأن تواجد

الكربون والمنجنيز والسليكون والكبريت والفسفور وخلافه يعتمد على نسب ومكونات الحديد الخام والفحم والجير المستخدم، فإنه من الصعب جدا على الإنسان أن يقوم بالتحكم في هذه العملية الصناعية الكيميائية المعقدة. لذلك فإنه في مثل هذه الحالات يستخدم الكمبيوتر للتحكم حيث يتم تجميع البيانات والمعلومات عن تركيبة الحديد الناتج والخبث والغازات الأخرى ودرجة الحرارة والضغط داخل الفرن. بالإضافة إلى مكونات ونسب الحديد الخام وفحم الكوك والحجر الجيري. وتغذى هذه البيانات والمعلومات إلى الكمبيوتر عند فترة زمنية محددة . ويقوم الكمبيوتر من خلال برامج التحكم المختزنة فيه بتحديد النسب المثلى لمكونات أو كميات المواد الخام التي تدخل إلى الفرن لإنتاج نوعية معينة من الحديد. وبالتالي يمكن التشغيل المستقر للفرن بحالة مرضية.

مثال (1-8) نظام تحكم إلكتروني في سرعة محرك تيار مستمر :

يبين الشكل (1-7) رسما مبسطا لنظام تحكم إلكتروني في سرعة محرك تيار مستمر يدير حملاً ميكانيكياً. ويقوم المتحكم بإنتاج نبضات Pulses بتوقيتات معينة لإشعال دوائر الثايرستور التي تقوم بدورها بإنتاج جهد موحد U_a محكوم- هذا الجهد ناتج من توحيد التيار المتردد ثلاثي الطور عن طريق دوائر الثايرستور. ويتم قياس سرعة المحرك بواسطة مولد صغير (التاكوميتر) يولد جهداً يتناسب مع السرعة ويتم مقارنة هذا الجهد بالدخل المقارن وهو عبارة عن جهد أيضا يتناسب مع السرعة المطلوبة، والفرق بين الجهدين يغذي المتحكم.



شكل(1-7) نظام تحكم إلكتروني في سرعة محرك تيار مستمر

١- ٤. المخطط الصندوقي (Block Diagram) ومخطط السريان (Flow Graph) :

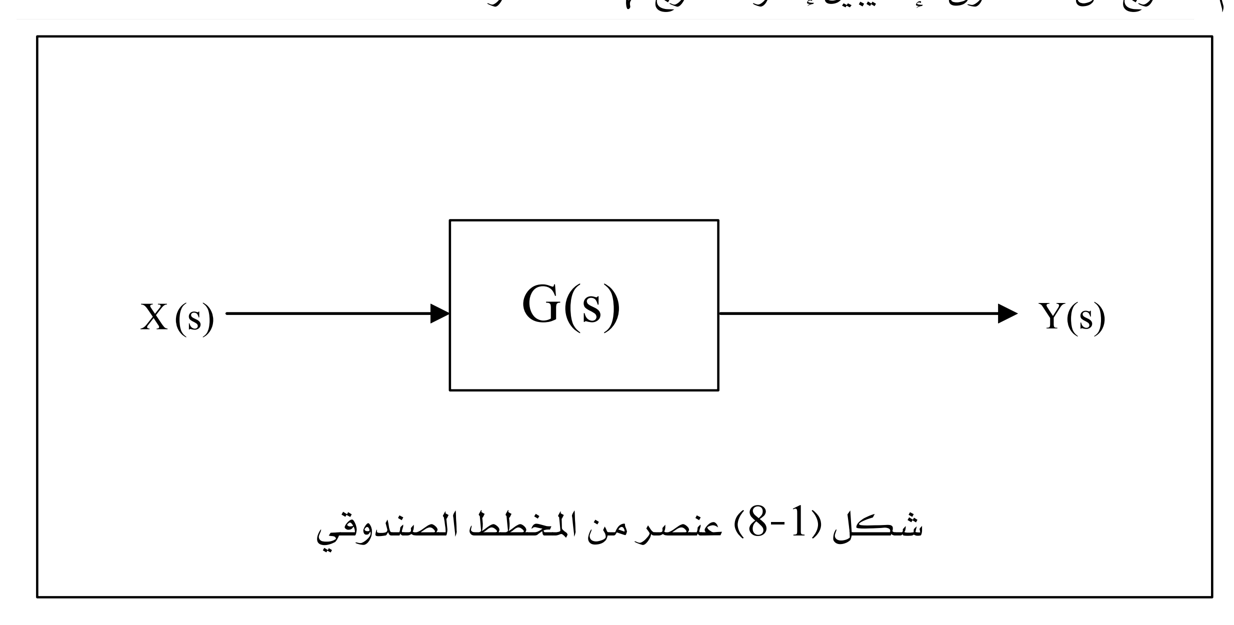
المخطط الصندوقي: تتكون أنظمة التحكم من عدة مكونات مرتبطة ببعضها ولتوضيح وظيفة كل من هذه المكونات وسريان الإشارات المختلفة بالإضافة إلى العلاقة بين المكونات وبعضها ، فإن رسماً معيناً يستخدم لذلك. هذا الرسم يسمى المخطط الصندوقي.

وعند رسم المخطط الصندوقي يتم استخدام صناديق كل صندوق يرمز لعملية رياضية تجرى.

١- ٤- ١. المخطط الصندوقي Block Diagram

تتكون أنظمة التحكم من عدة مكونات elements مرتبطة ببعضها وتوضيح وظيفة كل من هذه المكونات وسريان الإشارات المختلفة بالإضافة إلى العلاقة بين المكونات وبعضها فإن رسماً معيناً يستخدم لذلك . هذا الرسم يسمى المخطط الصندوقي Block diagram.

وعند رسم المخطط الصندوقي يتم استخدام صناديق blocks كل صندوق يرمز لعملية رياضية تجرى على إشارة الدخل signal input لإنتاج شارة الخرج signal output وعادة تكتب دالة التحويل transfer function داخل كل صندوق وترسم أسهم لبيان سريان الإشارات المختلفة . هذا مع الأخذ في الاعتبار أن اتجاه سريان الإشارات يكون فقط في اتجاه الأسهم وليس العكس. والشكل (1-8) يبين عنصراً من عناصر المخطط الصندوقي مع ملاحظة أن السهم المتجه إلى الصندوق يبين إشارة الدخل أما السهم الخارج من الصندوق فإنه يبين إشارة الخرج لهذا العنصر.



شكل (1-8) عنصر من المخطط الصندوقي

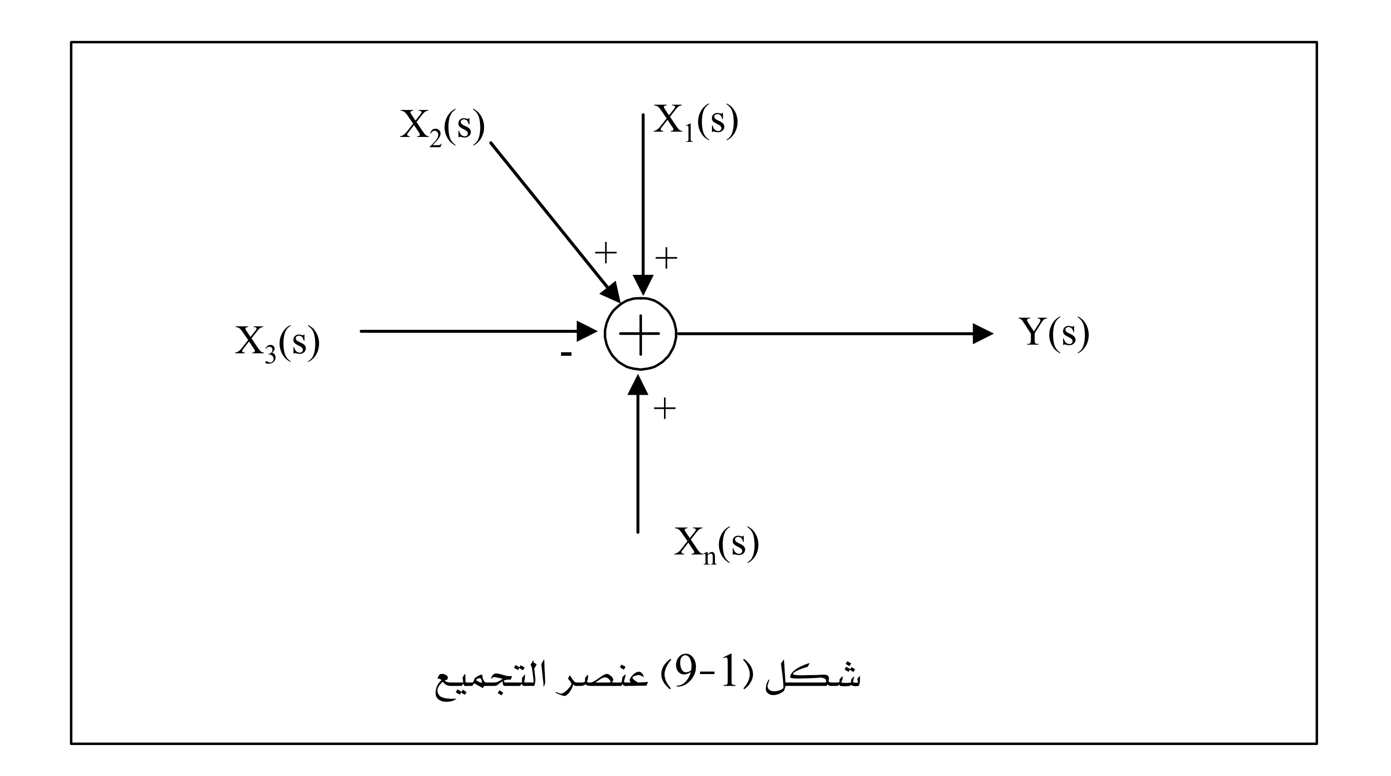
حيث إن:

$$Y(s) = G(s)X(s)$$
$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

وتتميز طريقة استخدام المخطط الصندوقي لتمثيل أنظمة التحكم بأنه يمكن الحصول على الرسم التخطيطي الكامل لنظام التحكم بتوصيل الصناديق الممثلة للمكونات حسب سريان إشارات التحكم . وكذلك فإنه يمكن تحديد ومعرفة تأثير كل جزء على خصائص نظام التحكم الكلي. وبصفة عامة فإنه قد يكون من الأسهل متابعة طريقة عمل نظام التحكم بفحص المخطط الصندوقي للنظام بدلا من فحص النظام الحقيقي نفسه . ويحتوي الرسم التخطيطي للمخطط الصندوقي على السلوك الديناميكي للأنظمة وليس على تركيبها الطبيعي. ويجب ملاحظة أن المنبع الرئيس للطاقة لا يظهر بطريقة واضحة في المخطط الصندوقي لنظام التحكم وكذلك فإن الرسم التخطيطي للمخطط الصندوقي لنظام معين يمكن أن يختلف حسب طريقة تحليل النظام.

أ- عنصر التجميع Summing Element

عنصر التجميع أو نقطة التجميع هو عنصر الإشارة الخارجة وهي عبارة عن المجموع الجبري للإشارات الداخلة له كل حسب نوع إشارته (موجبة أو سالبة) كما هو مبين في الشكل (1-9).



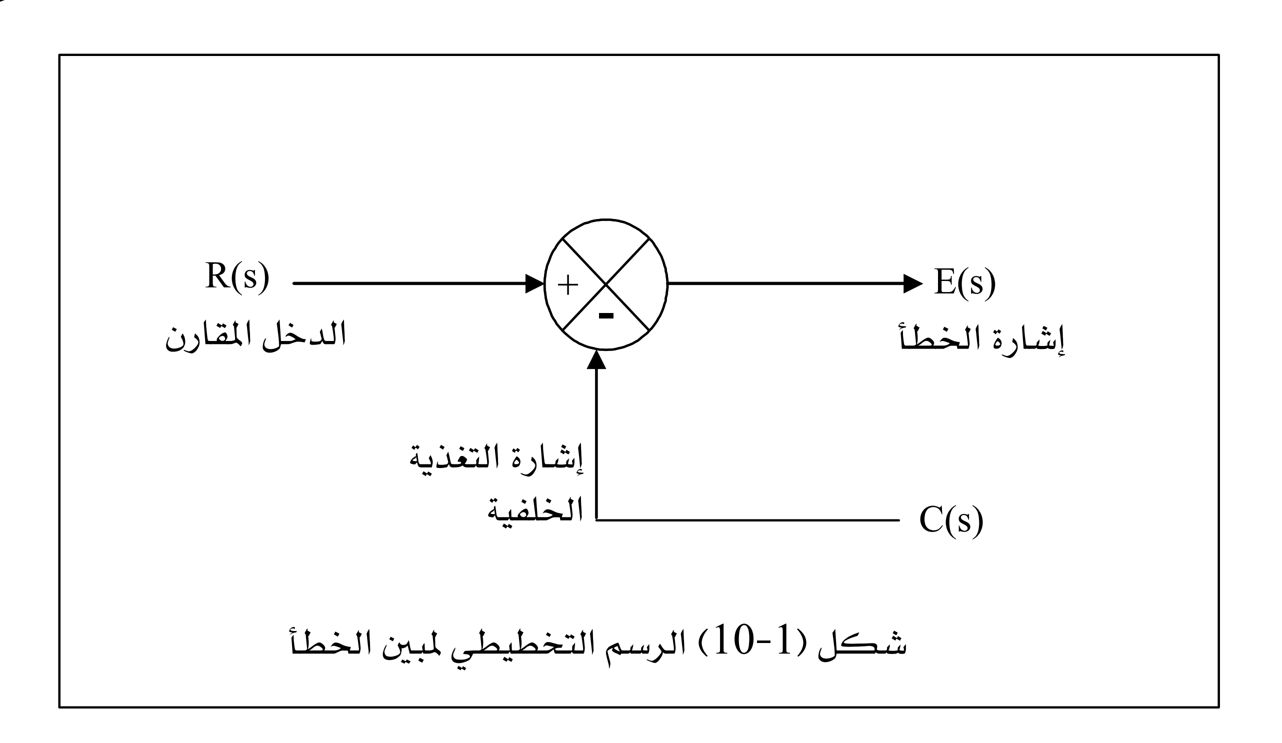
شكل (1-9) عنصر التجميع

أي أن:

$$Y(s) = X_1(s) + X_2(s) - X_3(s) + \dots\dots\dots\dots\dots + X_n(s)$$

ب- مبين الخطأ Error Detector

مبين أو كاشف الخطأ ينتج إشارة هي عبارة عن الفرق بين إشارة الدخل وإشارة التغذية الخلفية signal feedback. ويسمى مبين الخطأ أيضا بعنصر المقارنة element comparing لأنه يقوم بمقارنة نفس الإشارتين السابقتين ويكون خرج عنصر المقارنة هو الفرق بين الإشارتين المذكورتين كما هو موضح بالشكل (1-10).



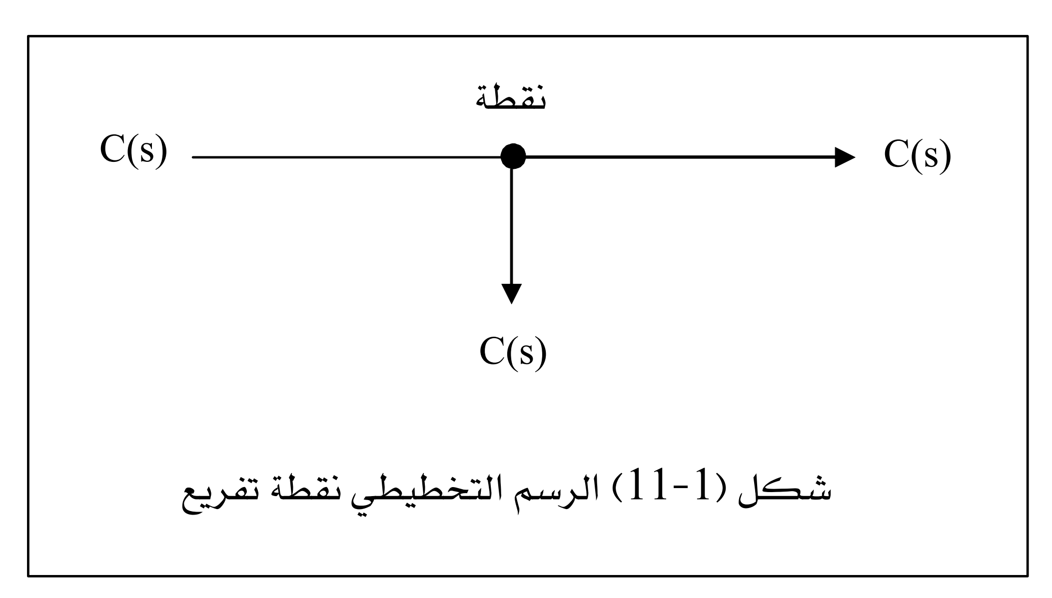
شكل (1-10) الرسم التخطيطي لمبين الخطأ

وبذلك تكون إشارة الخطأ هي:

$$E(s) = R(s) - C(s) \qquad (1\text{-}1)$$

ج- نقطة التفريع Branch point

نقطة التفريع هي نقطة يتم عندها تفر يع الإشارة C(s) إلى فرعين بحيث إنالفرع الإضافي يكون من نفس نوع الإشارة وله نفس الكميات والوحدات كما هو مبين بالشكل (1-11). ويمكن خروج أكثر من فرع للإشارة من نفس نقطة التفريع.



شكل (1-11) الرسم التخطيطي نقطة تفريع

١- ٤- ٢. كيفية بناء المخطط الصندوقي في أنظمة التحكم Construction of Block Diagram

تتكون أنظمة التحكم من مجموعة مكونات أو أجزاء مرتبطة ببعضها للقيام بوظيفة معينة. وهناك عدة خطوات يجب أن تتبع لرسم المخطط الصندوقي كالتالي:

أ- يتم كتابة المعادلات التفاضلية أو الجبرية التي تصف أجزاء النظام كل جزء على حدة.

ب- يتم إجراء التحويل اللابلاسي لهذه المعادلات مع الأخذ في الاعتبار أن جميع القيم الابتدائية تكون صفر.

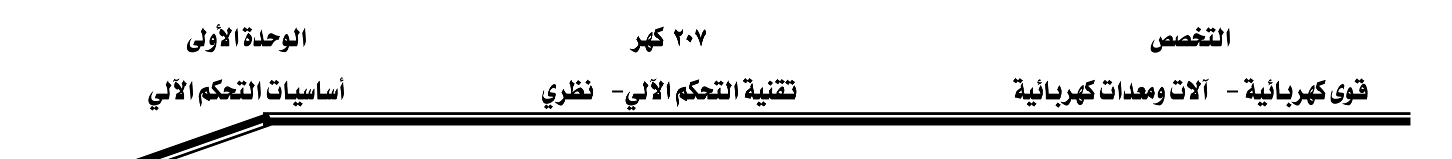
ج- يتم إيجاد دالة التحويل التي تصف كل جزء من أجزاء النظام .

د- يتم رسم صندوق ليمثل كل جزء مع كتابة دالة التحويل الخاصة به بداخله مع بيان إشارات الدخل والخرج لكل صندوق .

ه- يتم تجميع هذه الصناديق عن طريق توصيلها مع بعضها بأسهم لبيان إشارات الدخل والخرج لجميع الأجزاء للحصول على الرسم التخطيطي النهائي للنظام .

١- ٤- ٣. نظريات تحويل المخطط الصندوقي Block Diagram Transformation Theorems

في المخططات الصندوقية لأنظمة التحكم الكبيرة نحتاج إلى بعض التحويلات التي تخضع لقواعد معينة . هذه القواعد مبينة بالتفصيل في الجدول (1-3) حيث يبين الرسم التخطيطي الأصلي والمكافئ له في



كل حالة . ويلاحظ أن الحرف P استخدم لتمثيل الدالة الانتقالية و الأحرفH,X,Y,Z ترمز إلى أي إشارات دالة في المتغير S.

	Transformation	Equation	Block Diagram	Equivalent Block Diagram
1	Combining Blocks in Cascade	$Y = (P_1P_2)X$	X, P_1, P_2, Y	X, $P_1 P_2$, Y
2	Combining Blocks In parallel; or Eliminating a Forward Loop	$Y = P_1X \pm P_2X$	X, P_1, +, Y, ±, P_2	X, $P_1 \pm P_2$, Y
3	Removing a block From a Forward Path	$Y = P_1X \pm P_2X$		X, P_2, $\frac{P_1}{P_2}$, +, Y, ±
4	Eliminating a Feedback loop	$Y = P_1(X \mp P_2Y)$	X, +, ∓, P_1, Y, P_2	X, $\frac{P_1}{1 \pm P_1P_2}$, Y
5	Removing a Block From a Feedback Loop	$Y = P_1(X \mp P_2Y)$		X, $\frac{1}{P_2}$, +, ∓, P_1P_2, Y

جدول (٣-١) نظريات تحويل المخطط الصندوقي

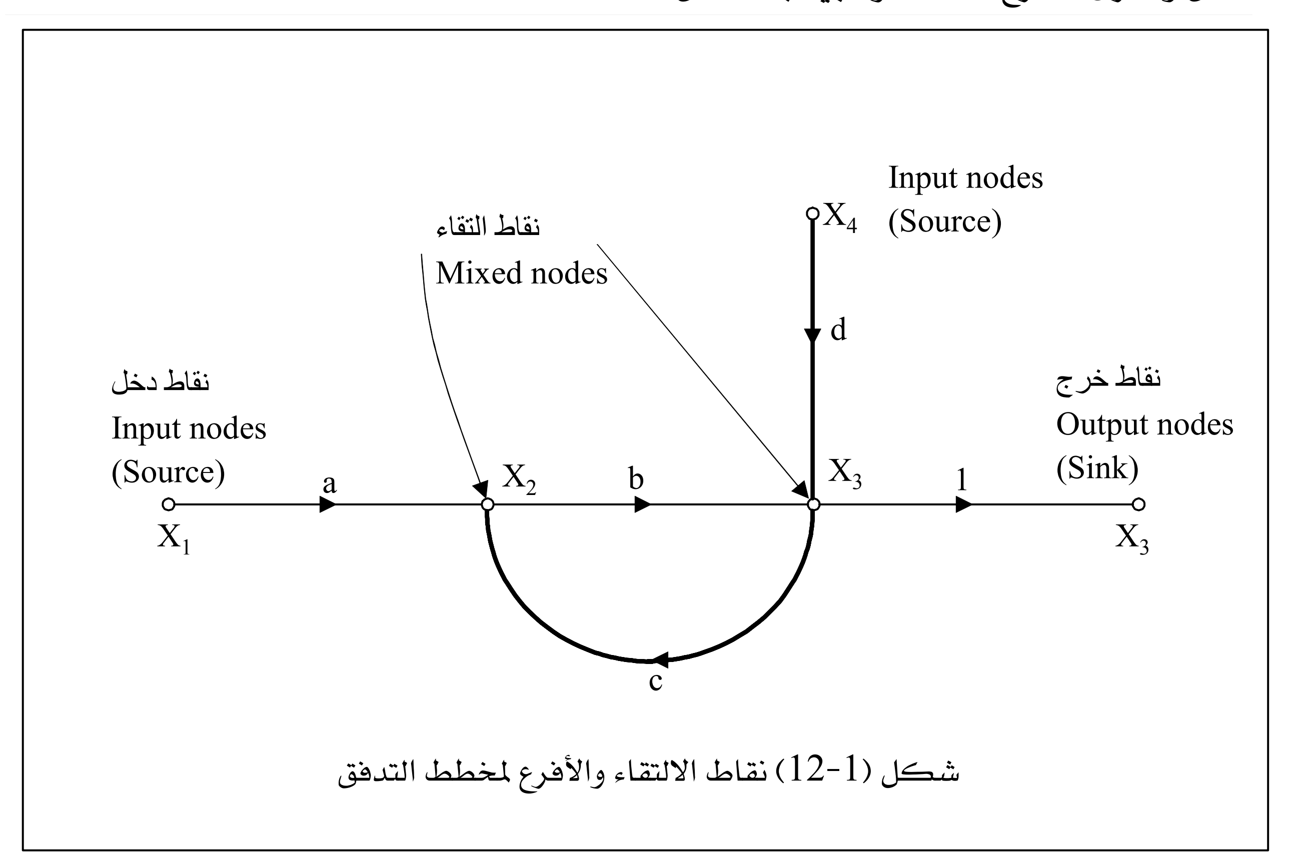
Transformation		Equation	Block Diagram	Equivalent Block Diagram
6a	Rearranging Summing Points	Z = W ± X ± Y	W, X, Y, Z, +, ±	W, Y, X, Z, +, ±
6b	Rearranging Summing Points	Z = W ± X ± Y	W, X, Y, Z, +, ±	W, X, Y, Z, +, ±
7	Moving a Summing Point Ahead of a Block	Z = PX ± Y	X, P, Z, Y, +, ±	X, P, Z, 1/P, Y, +, ±
8	Moving a Summing Point Beyond of a Block	Z = P(X ± Y)	X, Y, P, Z, +, ±	X, P, Y, P, Z, +, ±
9	Moving a Takeoff Point Ahead of a Block	Y = PX	X, P, Y, Y	X, P, Y, Y, P
10	Moving a Takeoff Point Beyond a Block	Y = PX	X, P, Y, X	X, P, Y, 1/P
11	Moving a Takeoff Point Ahead of a Summing point	Z = X ± Y	X, Y, Z, Z, +, ±	X, Z, Z, Y, +, ±
12	Moving a Takeoff Point Beyond a Summing point	Z = X ± Y	X, X, Y, Z, +, ±	X, Y, X, Z, +, ±, ∓

١- ٤- ٤. مخطط تدفق الإشارة Signal Flow Graph

كما سبق فإن المخطط الصندوقي يكون مفيدا في التمثيل بالرسم لأنظمة التحكم. وفي بعض أنظمة التحكم المعقدة جدا حيث تكون طريقة اختصار أو تبسيط المخطط الصندوقي تأخذ كثيرا من الوقت هناك طريقة أخرى لإيجاد العلاقة بين الدخل والخرج ومتغيرات النظام المعقد تسمى مخطط تدفق الإشارة.

أ- أساسيات مخطط تدفق الإشارة Fundamental of Signal Flow Graph

يعرف مخطط تدفق الإشارة بأنه الرسم التخطيطي الذي يمثل مجموعة من المعادلات الجبرية الخطية والتي يجب عند تطبيق هذه الطريقة على أنظمة التحكم أولا تحويل المعادلات التفاضلية الخطية إلى معادلات جبرية . ويتكون مخطط التدفق من عدة نقاط التقاء متصلة بواسطة عدة أفرع وكل نقطة اتصال تمثل متغيراً من متغيرات النظام وكل فرع متصل بين نقطتي التقاء يعتبر كإشارة بالإضافة إلى نقطة دخل وأخرى الخرج. كما هو مبين بالشكل(1-12).



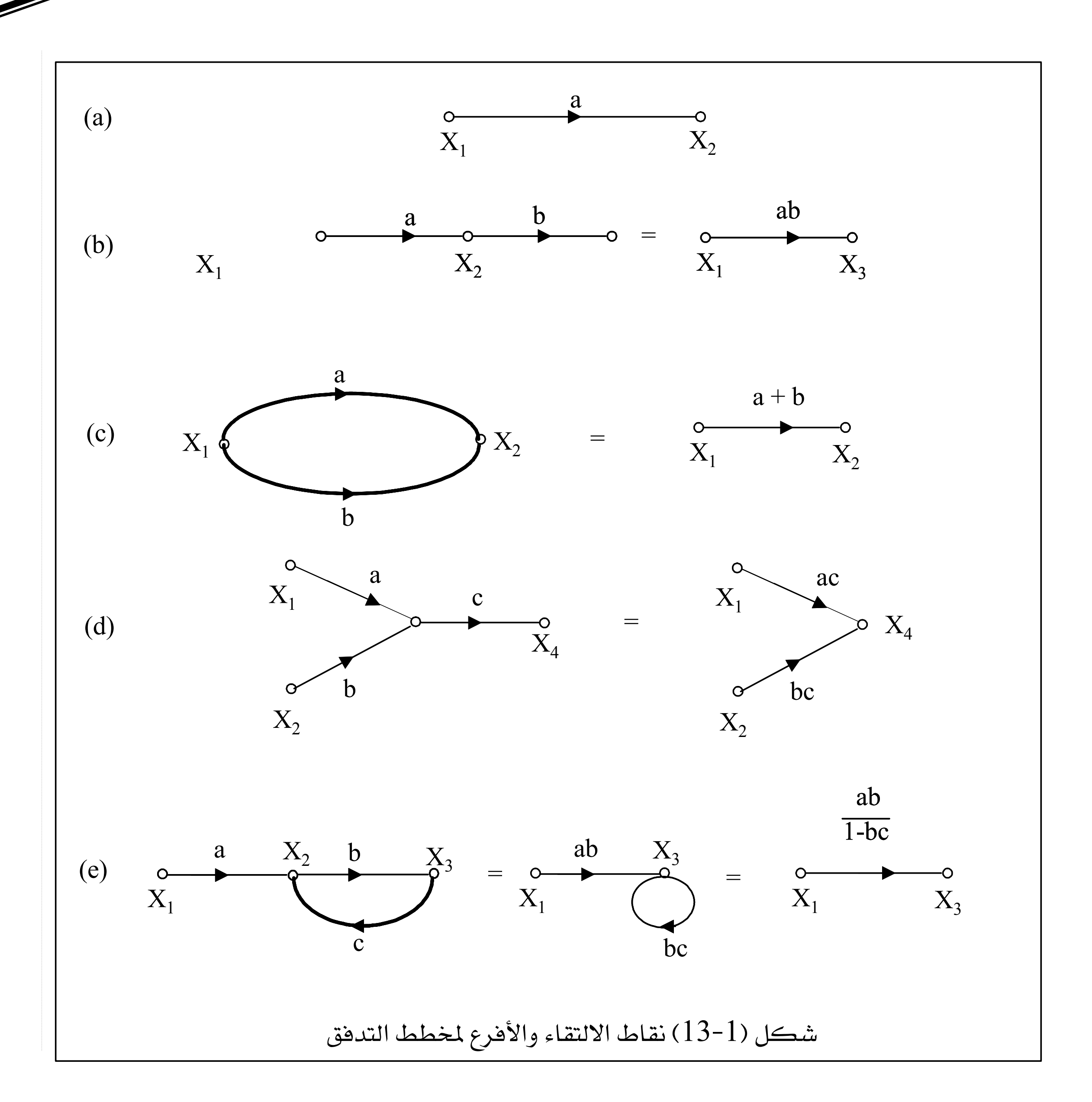
شكل (1-12) نقاط الالتقاء والأفرع لمخطط التدفق

ويلاحظ أن مخطط التدفق لابد أن يكون في اتجاه واحد ويحدد اتجاه سريان الإشارة بأسهم توضع على الأفرع في منتصفها وليس في أولها. أما معامل ضرب الإشارة فيبين على الفرع نفسه. وعلى ذلك فإن

مخطط تدفق الإشارة يوضح عن طريق الرسم سريان أو تدفق الإشارات من نقطة معينة في النظام إلى نقطة أخرى لكي يعطي العلاقات المختلفة بين الإشارات. ويمكن القول بأن مخطط التدفق للإشارات يحتوى على نفس المعلومات التي يحتوي عليها المخطط الصندوقي ولكن الميزة في استخدام مخطط التدفق لتمثيل أنظمة التحكم هو أن هناك صيغة كسب تسمى قاعدة ماسون Masons rule التي يمكن تطبيقها للحصول على العلاقة بين متغيرات النظام والخرج والدخل دون الحاجة إلى تبسيط أو اختصار المخطط.

ب- قواعد مخطط تدفق الإشارة Basics of Signal Flow Graph

لإيجاد العلاقة بين الدخل والخرج لنظام تحكم عن طريق مخطط التدفق فإن قاعدة ماسون من أسهل الطرق التي تستخدم لذلك. أو استخدام عملية الاختصار لمخطط التدفق الكبير إلى مخطط تدفق آخر يحتوي فقط على نقطة التقاء واحدة للدخل وأخرى للخرج. وفيما يلي سوف نعرض القواعد المستخدمة لذلك كما هو مبين بالشكل (1-13).



شكل (13-1) نقاط الالتقاء والأفرع لمخطط التدفق

وبدراسة الشكل (13-1) نجد الآتي:

١- قيمة نقطة الخرج X_2 والمبينة بالشكل (١-١٣a) تساوي $X_2 = aX_1$

٢- مجموع الإشارات الخاصة بالأفرع المتصلة على التوالي تساوي حاصل ضربهم كما تشكل(١-١٣b).

٣- مجموع الإشارات الخاصة بالأفرع المتصلة على التوازي تساوي مجموعها كما في الشكل(١-١٣c)

٤- نقطة الالقاء يمكن أن تحذف كما في الشكل (١-١٣d)

٥- نقطة الالقاء يمكن أن تحذف كما في الشكل (١-١٣e)مع ملاحظة أن :

$$x_3 = bx_2,\ \ x_2 = ax_1 + cx_3$$

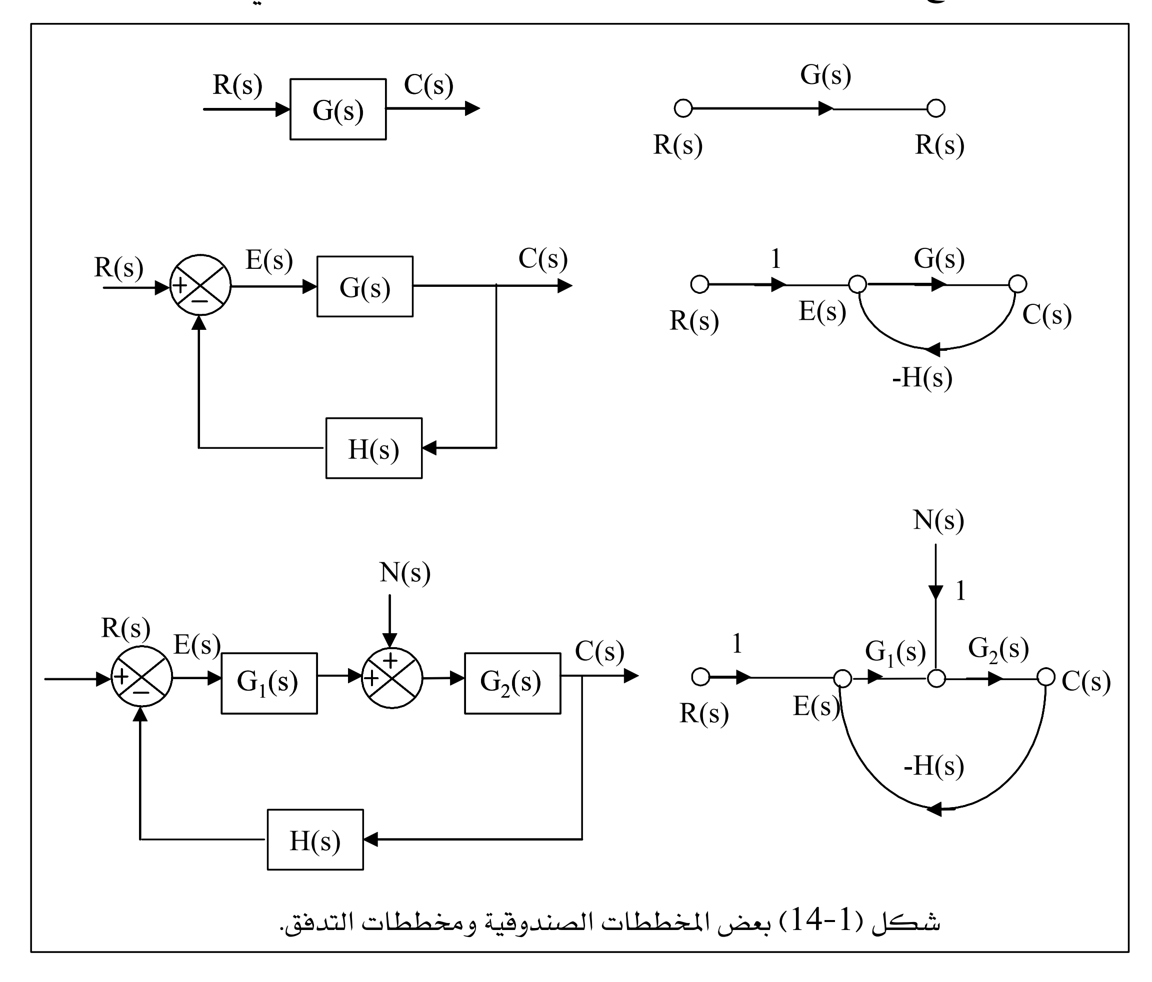
أي أن :

$$x_3 = abx_1 + bcx_3$$

أو :

$$x_3 = [ab/(1-bc]x_1$$

و الشكل (14-1) يوضح بعض المخططات الصندوقية ومخططات التدفق التي تكافؤها.



شكل (14-1) بعض المخططات الصندوقية ومخططات التدفق.

١- ٤- ٥. قاعدة ماسون لمخططات التدفق Mason's Rule For Signal Flow Graphs

في معظم الأحيان التي يكون مطلوباً فيها حساب العلاقة بين خرج النظام ودخله (دالة التحويل) وعندما يكون مخطط التدفق معقداً يكون استخدام قاعدة ماسون مفيدا في توفير الوقت. وتعرف قاعدة ماسون بالمعادلة التالية :

$$P = \frac{1}{\Delta}\sum_{k} P_k\ \Delta_k \qquad (2\text{-}1)$$

المسار الأمامي P_k = path gain of kth forward path

يتم حسابها من المخطط Δ = determinant of graph

(مجموع حاصل ضرب كل مسارين غير متماسين)+(مجموع جميع المسارات) - ١ =
......+ (مجموع حاصل ضرب كل ثلاثة مسارات غير متماسة)-

$$1-\sum_{a} L_a + \sum_{b,c} L_b L_c - \sum_{d,e,f} L_d L_e L_f + \ldots\ldots\ldots$$

حيث إن:

$\sum_{a} L_a$ = مجموع جميع المسارات المختلفة

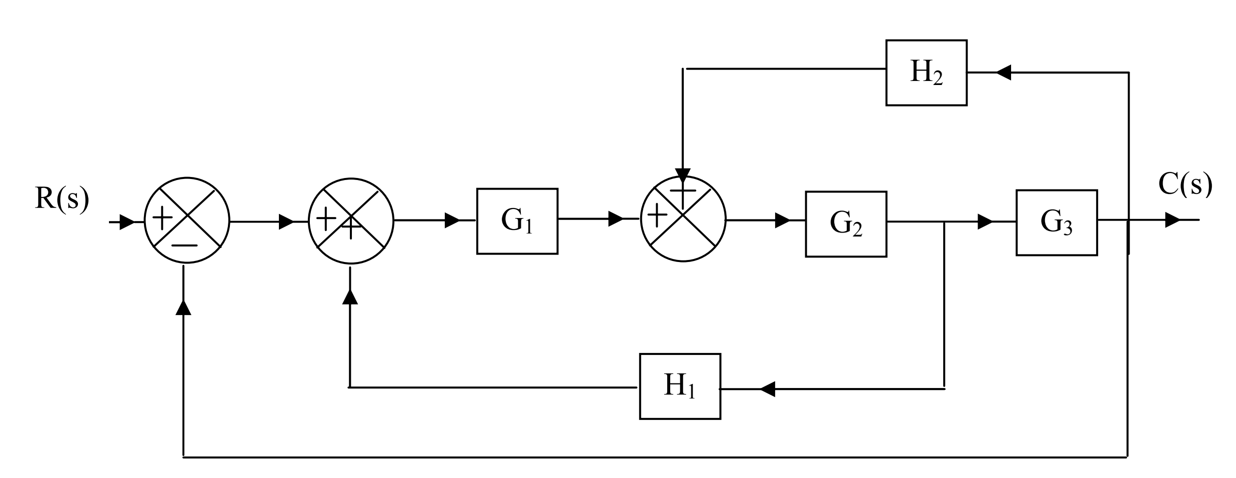
$\sum_{b,c} L_b L_c$ = مجموع حاصل ضرب كل مسارين غير متماسين

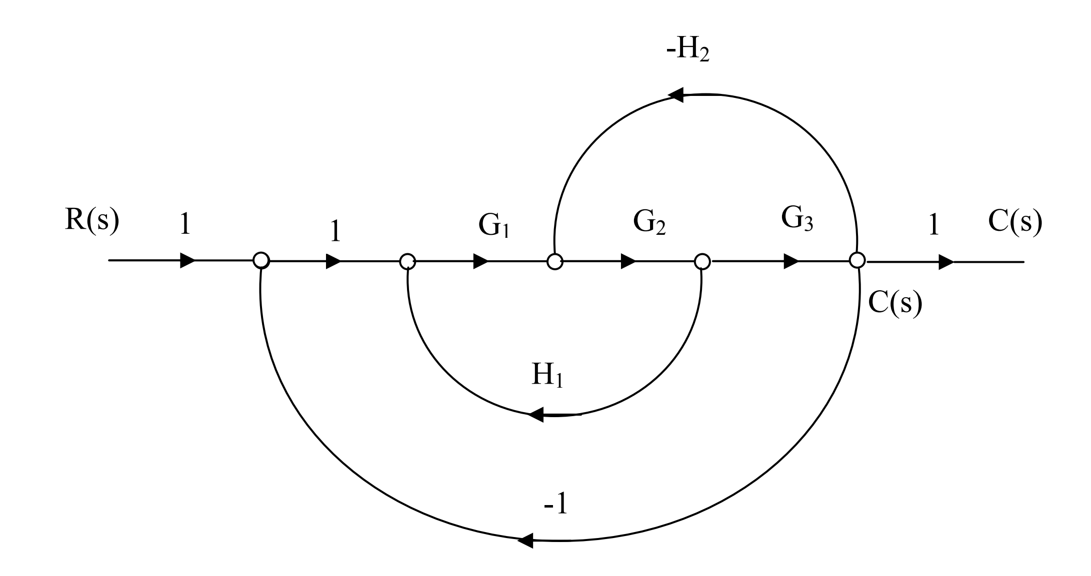
$\sum_{d,e,f} L_d L_e L_f$ = مجموع حاصل ضرب كل ثلاثة مسارات غير متماسة

Δ_k k = قيمة Δ لكل المسارات ماعدا التي تمس المسار

مثال (9-1):

الشكل التالي يبين المخطط الصندوقي لنظام تحكم مخطط التدفق المكافئ له. باستخدام قاعدة ماسون أوجد دالة التحويل الكلية $\frac{C(s)}{R(s)}$.





في هذا المثال يوجد مسار واحد أمامي هو:

$$P_1 = G_1 G_2 G_3$$

وكذلك توجد ثلاثة مسارات مغلقة هي:

$$L_1 = G_1 G_2 H_1$$
$$L_2 = -G_2 G_3 H_2$$
$$L_3 = -G_1 G_2 G_3$$

ويلاحظ أن جميع المسارات المغلقة تمس بعضها البعض فتكون Δ كالتالي:

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3)$$
$$= 1 - G_1 G_2 H_1 + G_2 G_3 H_2 + G_1 G_2 G_3$$

ويلاحظ أن جميع المسارات المغلقة تمس المسار الأمامي P_1 فتحسب Δ_1 بحذف جميع المسارات المغلقة من معادلة Δ كالتالي:

$$\Delta_1 = 1$$

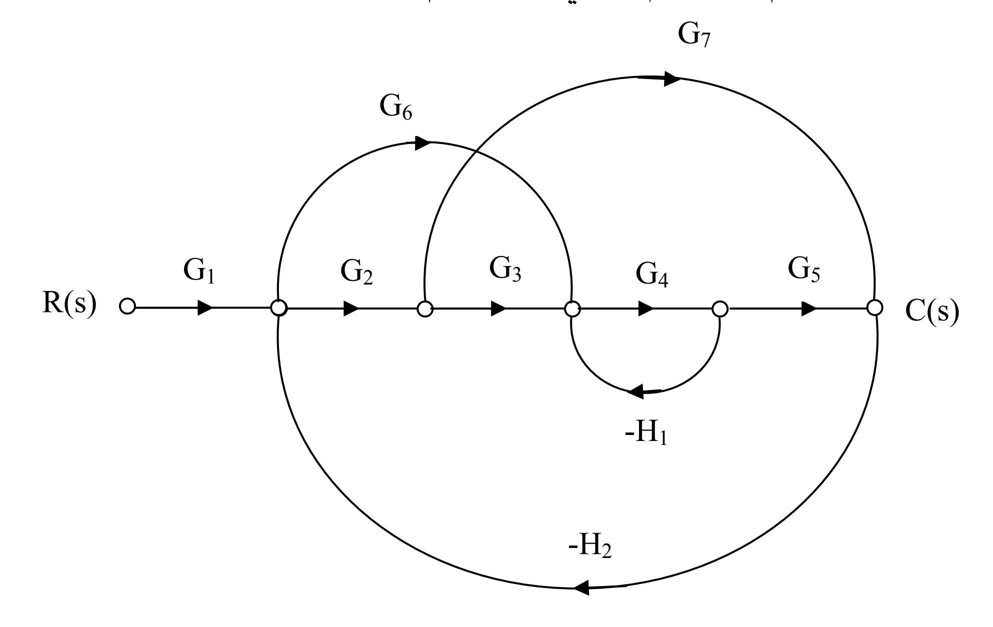
وبذلك تكون دالة التحويل الكلية والتي تمثل العلاقة بين الدخل والخرج $\frac{C(s)}{R(s)}$ كالتالي:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = P = \frac{P_1\Delta_1}{\Delta}$$

$$= \frac{G_1G_2G_3}{1 - G_1G_2H_1 + G_2G_3H_2 + G_1G_2G_3}$$

مثال (1-10):

أوجد دالة التحويل الكلية لنظام التحكم التالي باستخدام قاعدة ماسون.



الحل:

في هذا المثال توجد ثلاثة مسارات أمامية هي:

$$P_1 = G_1G_2G_3G_4G_5$$
$$P_2 = G_1G_6G_4G_5$$
$$P_3 = G_1G_2G_7$$

وكذلك توجد أربعة مسارات مغلقة هي:

$$L_1 = -G_4H_1$$
$$L_2 = -G_2G_7H_2$$
$$L_3 = -G_6G_4G_5H_2$$
$$L_4 = -G_2G_3G_4G_5H_2$$

ويوجد المسار المغلق L_1 والمسار المغلق L_2 متماسين فتحسب Δ كالتالي:

$$\Delta = 1-(L_1 + L_2 + L_3 + L_4) + L_1L_2$$

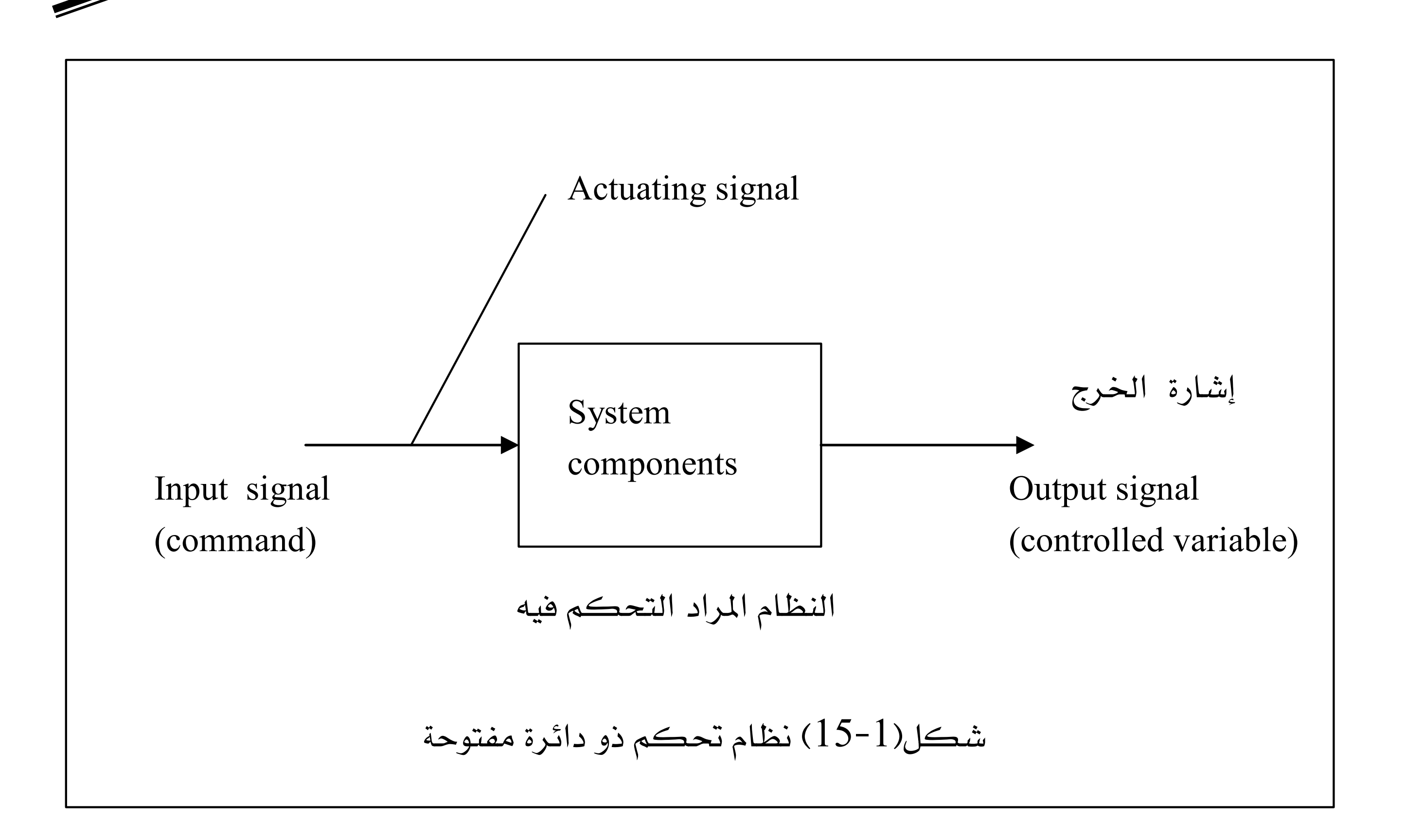
وكذلك Δ_1 تحسب بحذف المسارات المغلقة التي تمس المسار الأمامي P_1 كالتالي:

١- ٥. تصنيف أنظمة التحكم الآلي Classification of Control Systems

تنقسم أنظمة التحكم إلى نوعين أساسيين من التحكم، التحكم ذو الدائرة المفتوحة open loop والتحكم ذو الدائرة المقفلة closed loop control system.

١- ٥- ١. أنظمة التحكم ذو الدائرة المفتوحة Open Loop Control Systems

في أنظمة التحكم ذات الدائرة المفتوحة لا يؤثر الخرج على عملية التحكم، أي لا يوجد بها تغذية خلفية ولا عنصر مقارنة بين الدخل والخرج.

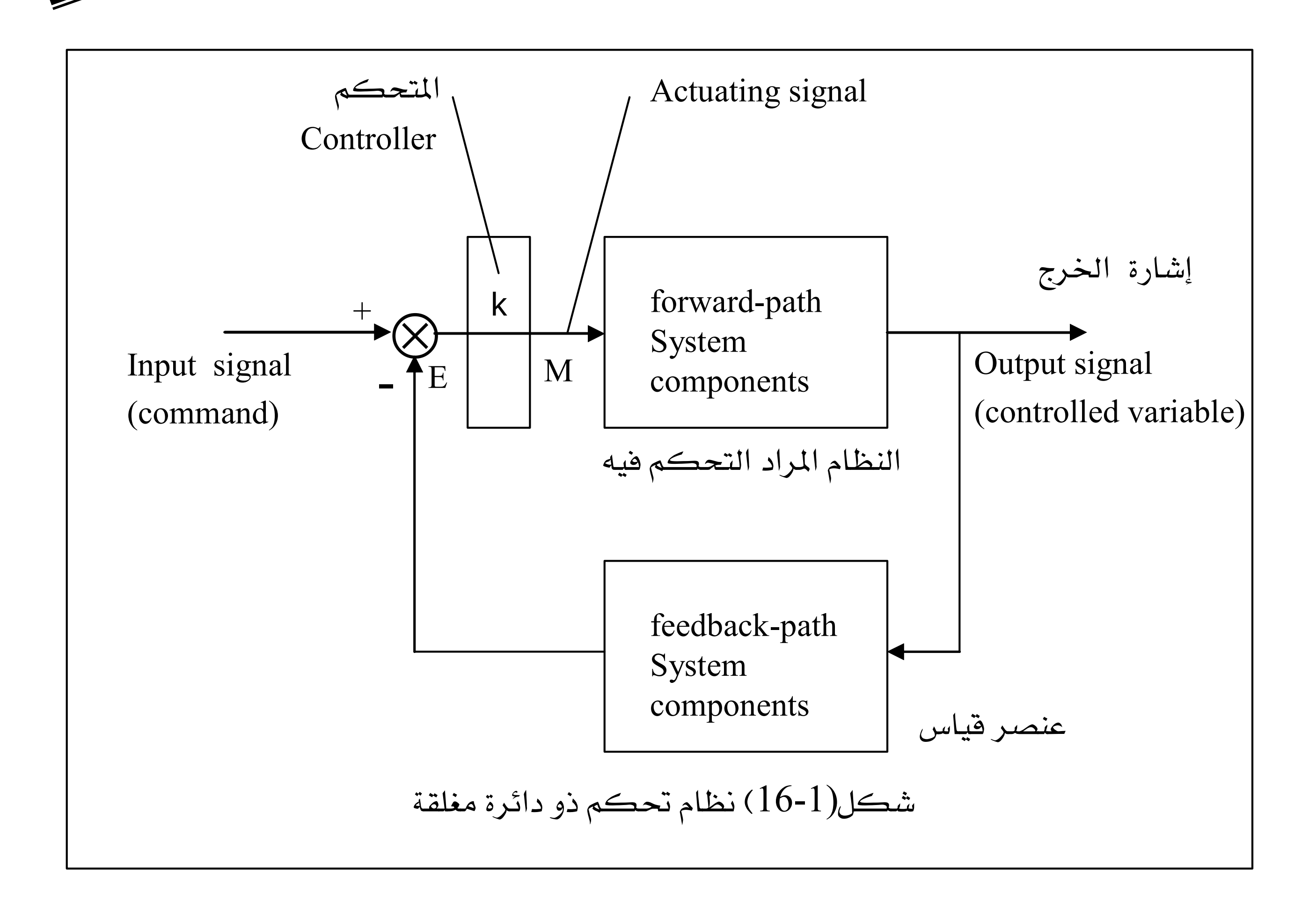


شكل(1-15) نظام تحكم ذو دائرة مفتوحة

بين شكل (1-15) العلاقة بين الخرج والدخل لهذه الأنظمة. وكمثال على أنظمة التحكم ذات الدائرة المفتوحة الغسالة الكهربائية التي تعمل بالتوقيت الزمني حسب برنامج معين وفيها لا يتم قياس الخرج وهو درجة نظافة الملابس وكمثال آخر لذلك إشارات المرور وتعتمد دقة هذه الأنظمة على معايرتها و الخبرة بتشغيلها وهي لا تعمل بدقة حين تعرضها إلى جهد ولا توجد اضطرا بات داخلية أو خارجية في النظام المراد التحكم فيه.

١- ٥- ٢. أنظمة التحكم ذات الدائرة المغلقة Closed-loop Control

نظام التحكم ذو الدائرة المغلقة هو نظام تكون فيه إشارة الخرج لها تأثير مباشر على عملية التحكم. بمعنى أن أنظمة التحكم ذات الدائرة المغلقة هي أنظمة تحكم ذات تغذية خلفية.



شكل(1-16) نظام تحكم ذو دائرة مغلقة

ويبين شكل (1-16) الرسم التخطيطي block diagram لتمثيل نظام تحكم ذي دائرة مقفلة، وفيه فإن إشارة الفرق بين الدخل وإشارة التغذية الخلفية E تقوم بتشغيل المتحكم controller K ليؤثر على الوحدة أو النظام المراد التحكم فيه plant للعمل على تقليل الخطأ بين الدخل و الخرج ضبط الخرج عند القيمة المطلوبة. ويجب ملاحظة أن عنصر القياس هنا (أو جهاز القياس) يقوم بقياس الخرج وتحويله إلى إشارة تماثل إشارة الدخل في الوحدات والكميات حتى يمكن مقارنة الدخل والخرج في عنصر المقارنة. ويسمى الدخل هنا عادة الدخل المقارن وذلك لأنه يتم مقارنته مع إشارة التغذية الخلفية التي هي الخرج بعد قياسه وتحويله إلى إشارة ممكن مقارنتها بالدخل. ومن أمثلة عناصر المقارنة المكبر الإلكترونيoperational amplifier وهناك عناصر مقارنة ميكانيكية وأجهزة الهواء المضغوط وخلافه.

ونظرا لأن إشارة التحكم Mالخارجة من المتحكم تكون عادة قيمتها صغيرة فإننا نستخدم مكبر قدرة (كهربائي أو ميكانيكي) ليستطيع التأثير على النظام المراد التحكم فيهplant . وهذا المكبر غير مبين في الرسم.

١- ٦. مقارنة بين أنظمة التحكم ذات الدائرة المفتوحة والمغلقة

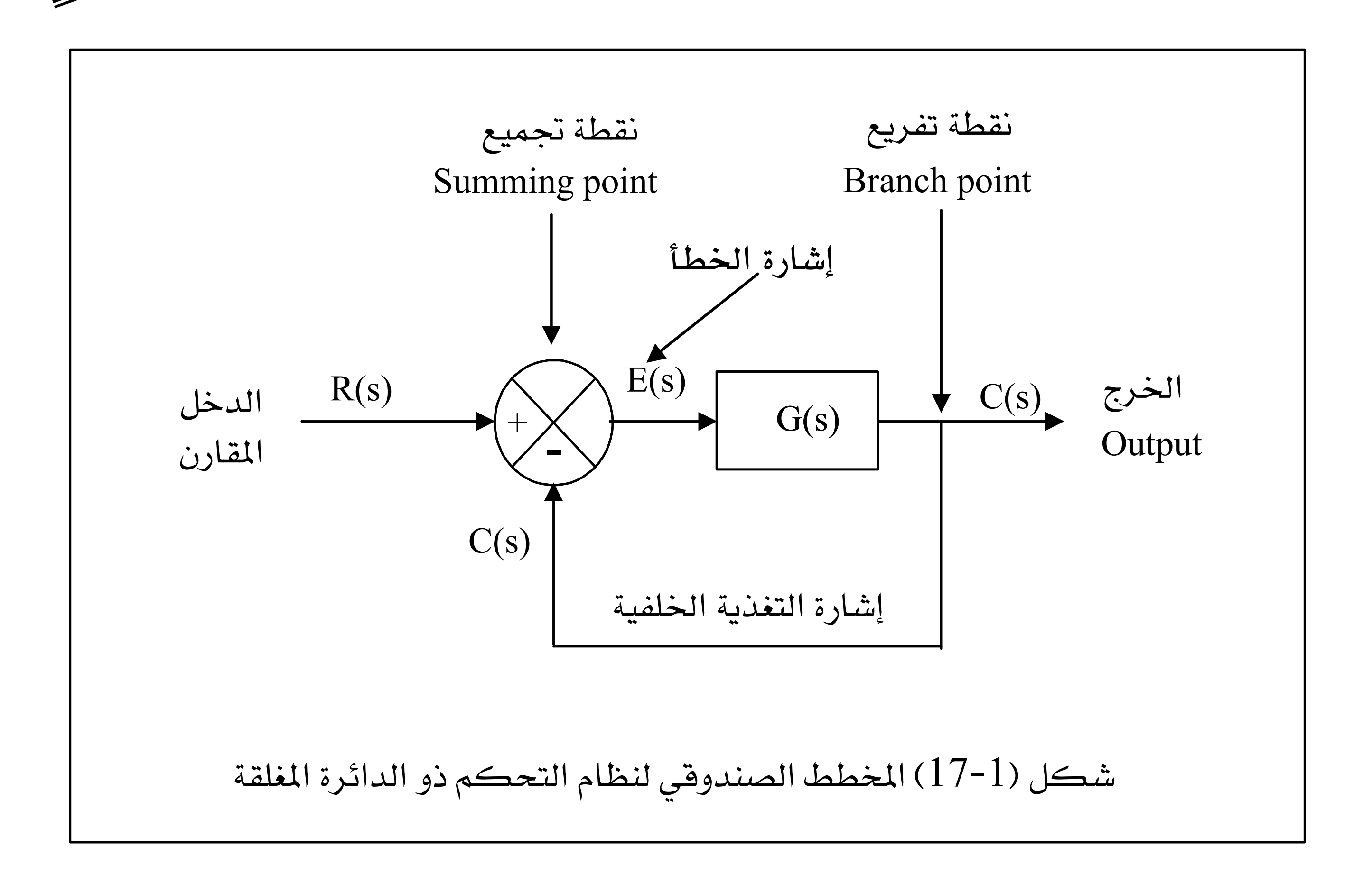
أ- تتميز أنظمة التحكم ذات الدائرة المغلقة باستخدام التغذية الخلفية التي تجعل النظام المتحكم فيه قليل الحساسية للاضطرابات الخارجية والتغيرات الداخلية في معاملات النظام. وعلى ذلك فإنه يمكن استخدام مكونات رخيصة وأقل دقة نسبيا للحصول على نظام تحكم دقيق، وهذا غير ممكن في حالة التحكم ذي الدارة المفتوحة

ب- ومن ناحية استقرار وتوازن الأنظمة فإن التحكم ذا الدائرة المفتوحة يعتبر أسهل في بنائه عن التحكم ذي الدائرة المغلقة، حيث يتطلب التحكم ذو الدائرة المغلقة تصميما خاصا للحفاظ على الاستقرار مع الدقة.

ج- يستخدم نظام التحكم ذو الدائرة المفتوحة عندما يكون الدخل معروفاً ومحدداً وليست هناك أية اضطرا بات متوقعة. وتظهر أهمية وأفضلية نظام التحكم ذو الدائرة المغلقة عند احتمال وجود اضطرا بات غير محددة أو تغيرات غير معروفة في معاملات المكونات. بعض الحالات يستخدم التحكم ذا الدائرة المفتوحة لتقليل النفقات، وفي حالات أخرى يكون الجمع بين التحكم ذي الدائرة المفتوحة والتحكم ذي الدائرة المغلقة أقل تكلفة مع إعطاء نتائج وخصائص مرضية لنظام التحكم.
جميع المجالات الهندسية والمجالات الأخرى.

١- ٧. المخطط الصندوقي لنظام التحكم ذي الدائرة المغلقة
Block Diagram of a Closed-loop Control System

المخطط الصندوقي لنظام التحكم ذي الدائرة المغلقة كما هو مبين بالشكل (1-17) تؤخذ فيه إشارة الخرج C(s) وتغذى تغذية خلفية إلى عنصر المقارنة وخرج عنصر المقارنة هو إشارة الخطأ (أو الانحراف) بين الدخل المقارن والخرج أي أن:

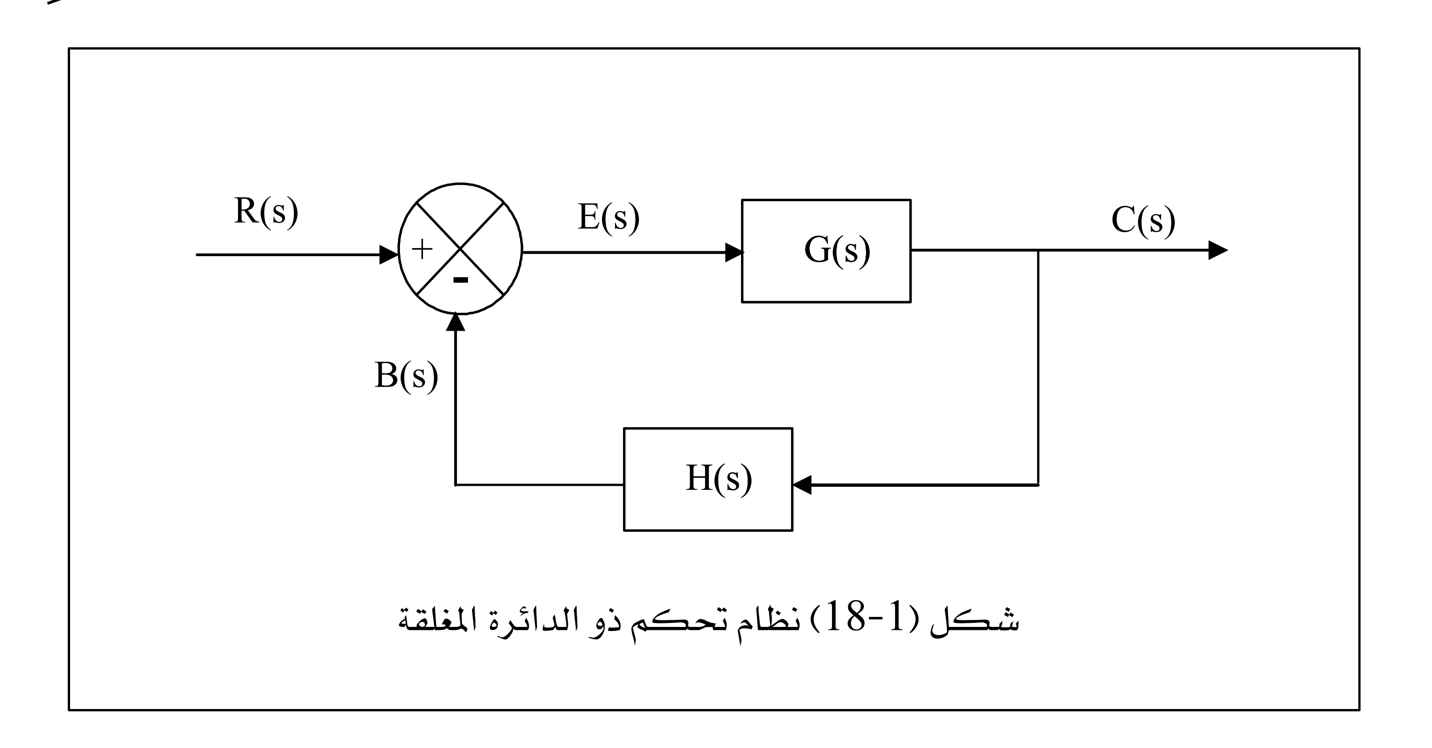


شكل (1-17) المخطط الصندوقي لنظام التحكم ذو الدائرة المغلقة

و من الضروري ملاحظة أن تكون كمية وحدا ت الخرج من نفس نوع الكمية وحدات ا لدخل قبل دخولها إلى عنصر المقارنة.

أما إذا كانت كمية وحدات الخرج مختلفة عن كمية وحدات الدخل فإنه يلزم وضع وسيلة (أو عنصر) ربما يكون جهازاً لتحويل إشارة الخرج لكي تكون من نفس نوع الدخل والذي يمثل بدالة التحويل H(s) كما هو مبين بالشكل (1-18). ويكون دخل هذا العنصر هو خرج نظام التحكم C(s) أما خرجه فيكون إشارة التغذية الخفية B(s) أي أن:

$$B(s) = H(s)C(s) \qquad (3-1)$$



شكل (1-18) نظام تحكم ذو الدائرة المغلقة

وبدراسة الشكل (1-18) يمكن إيجاد دوال التحويل الآتية:

١- دالة التحويل الأمامية Direct or forward transfer function

$$G(s) = \frac{C(s)}{E(s)} \qquad (4-1)$$

٢- دالة التحويل الخلفية feedback transfer function

$$H(s) = \frac{B(s)}{C(s)} \qquad (5-1)$$

٣- دالة التحويل للدائرة المفتوحة open-loop transfer function

$$G(s)H(s) = \frac{B(s)}{E(s)} \qquad (6-1)$$

٤- دالة التحويل للدائرة المغلقة closed-loop transfer function

إذا كانت دالة التحويل الخلفية في الشكل (1-18) مساوية للواحد $H(s) = 1$ فإن معادلة (1-5)

ومعادلة (1-6) تعطي الآتي:

$$C(s) = G(s)E(s)$$
$$E(s) = R(s) - B(s) \qquad (7-1)$$

بالتعويض عن المعادلة (1-2) في المعادلة (1-7) ينتج:

$$E(s) = R(s) - H(s)C(s)$$

وعليه فإن:

$$C(s) = G(s)E(s)$$
$$C(s) = G(s)[R(s) - H(s)C(s)$$
$$C(s) = G(s)R(s) - G(s)H(s)C(s)$$
$$C(s) + G(s)H(s)C(s) = G(s)R(s)$$
$$[1 + G(s)H(s)]C(s) = G(s)R(s)$$

بذلك تكون دالة التحويل للدائرة المغلقة كالتالي:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \qquad (8-1)$$

ويكون خرج نظام التحكم ذي الدائرة المغلقة كالتالي:

$$C(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} R(s) \qquad (9-1)$$

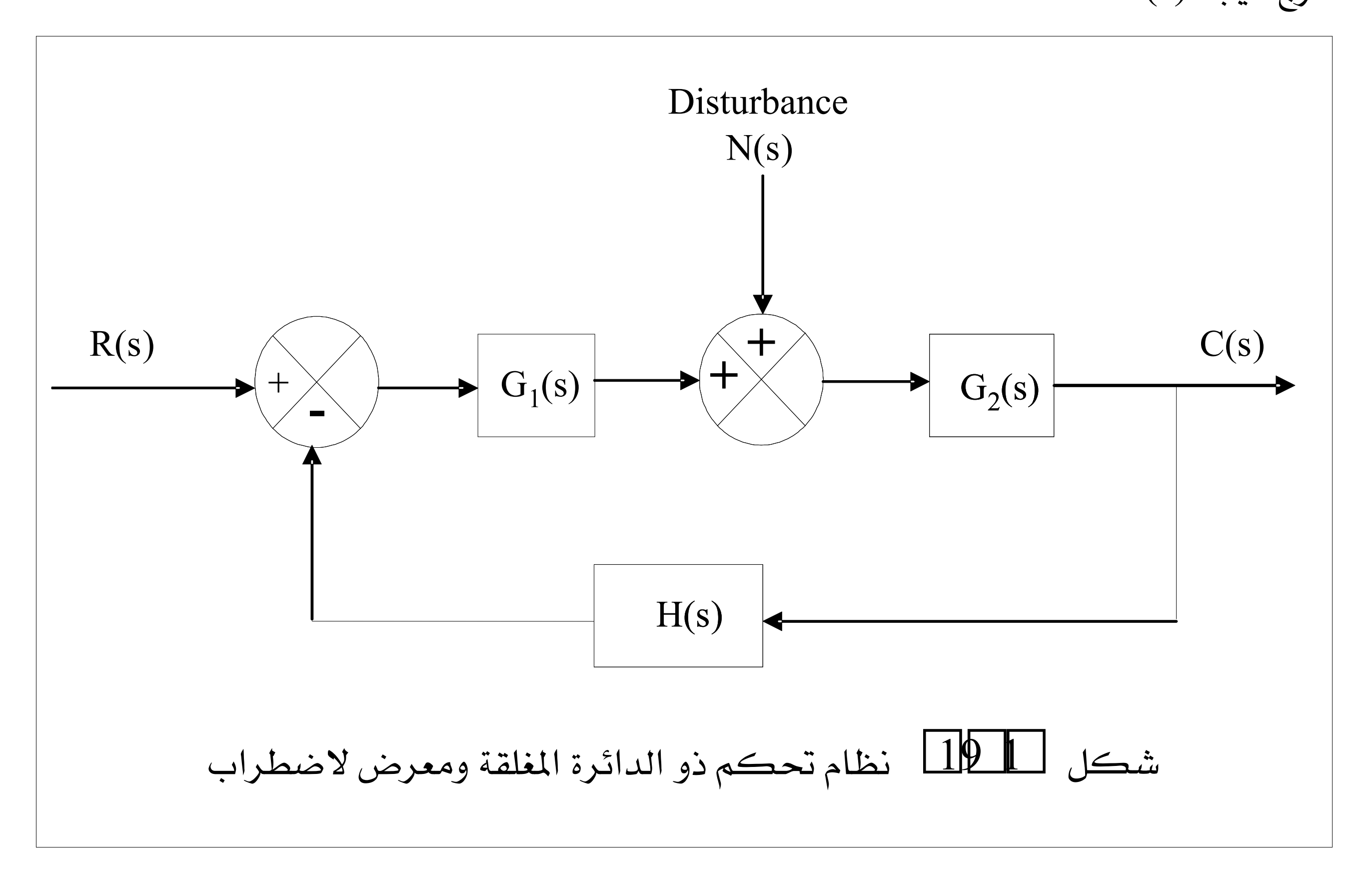
١- ٨. نظام التحكم ذو الدائرة المغلقة والمعرض لاضطراب

Closed-loop Control System Subjected to a disturbance

في نظام التحكم ذي الدائرة المغلقة والمتعرض إلى اضطراب والذي يرمز له بالرمز $D(s)$ كما هو مبين بالشكل (1-19) فيكون في هذه الحالة خرج النظام يتكون من جزأين، أولهما نتيجة الدخل R(s) وثانيهما نتيجة الاضطرابات D(s) ولإيجاد هذا الخرج نتبع الآتي:

أ- نفرض أولا أن النظام يتعرض إلى الدخل R(s) فقط وإن إشارة الاضطرابات = صفر ونوجد الجزء من الخرج نتيجة الدخل R(s).

ب - ثم نفرض أن الدخل R(s)=0 وأن النظام يتعرض فقط إلى الاضطراب D(s)، ونوجد الجزء من الخرج نتيجة D(s).



شكل 1 19 نظام تحكم ذو الدائرة المغلقة ومعرض لاضطراب

وبفرض أن $C_R(s)$ هو جزء الخرج نتيجة الدخل R(s) فقط . وأن $C_D(s)$ هو جزء الخرج نتيجة الدخل D(s) فقط . وعلى ذلك فإن الجزأين من الخرج يمكن إيجا دهما من المعادلتين (1-10) و(1-11) كالتالي:

$$\frac{C_n(s)}{N(s)} = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} \qquad (10-1)$$

$$\frac{C_R(s)}{R(s)} = \frac{G_1(s)G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} \qquad (11-1)$$

وعلى ذلك فإن الخرج الكلي يكون عبارة عن مجموع الجزأين من الخرج نتيجة كل من الدخل R(s) والاضطراب D(s) كالآتي:

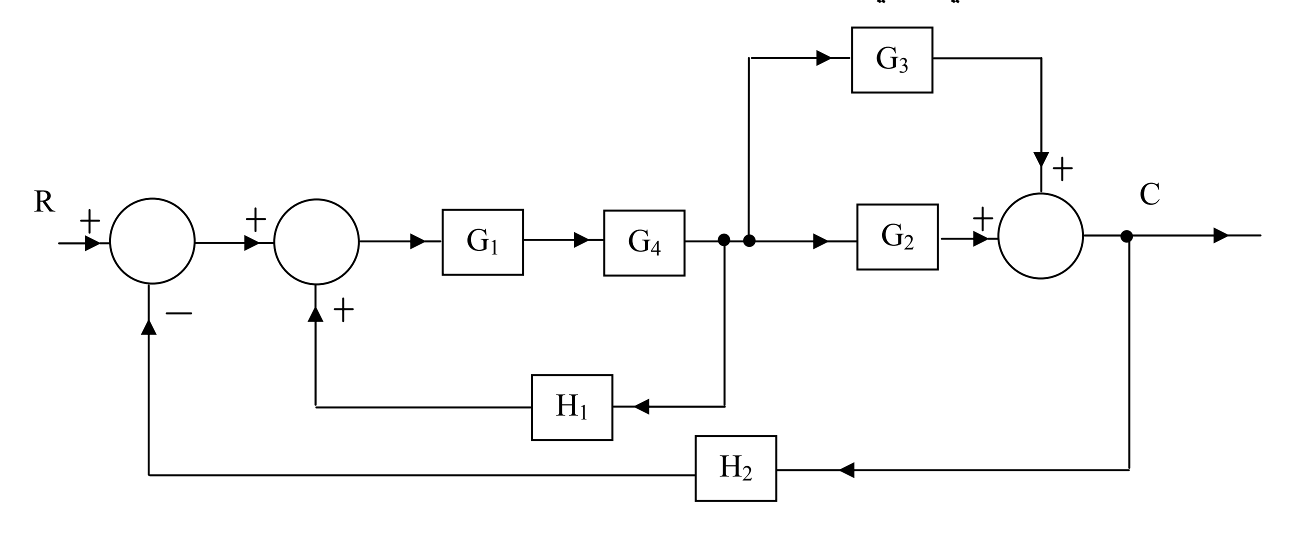
$$C(s) = C_R(s) + C_N(s)$$
$$= \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)}[G_1(s)R(s) + N(s)] \qquad (12 - 1)$$

١- ٩. تبسيط المخططات الصندوقية المعقدة Reduction of Complicated Block Diagrams

في معظم أنظمة التحكم الكبيرة ذات التغذية الخلفية يكون المخطط الصندوقي الناتج كبيراً ومعقداً لأنه يحتوي على مجموعة كبيرة من المسارات الأمامية والخلفية وعدد كبير من إشارات الدخل والخرج لجميع أجزاء النظام . ولتبسيط واختصار هذه المخططات الكبيرة يجب استخدام القواعد المبينة بالجدول (1-3) والذي يبين الرسم الأصلي للمخطط الصندوقي والرسم المكافئ له في جميع الحالات المتوقعة. وفي جميع الأحوال يكون الهدف في كل اختصار هو الوصول إلى الشكل المعتاد والقانوني لمخطط التغذية الخلفية والمبين في الشكل (1-18) وهذا يتطلب دراسة كل جزء من أجزاء النظام الأصلي ومحاولة الوصول بهذا الجزء إلى تحويلة من التحويلات المذكورة بالجدول (1-3).

مثال (11-1):

اختصر المخطط الصندوقي الآتي إلى أبسط صورة.

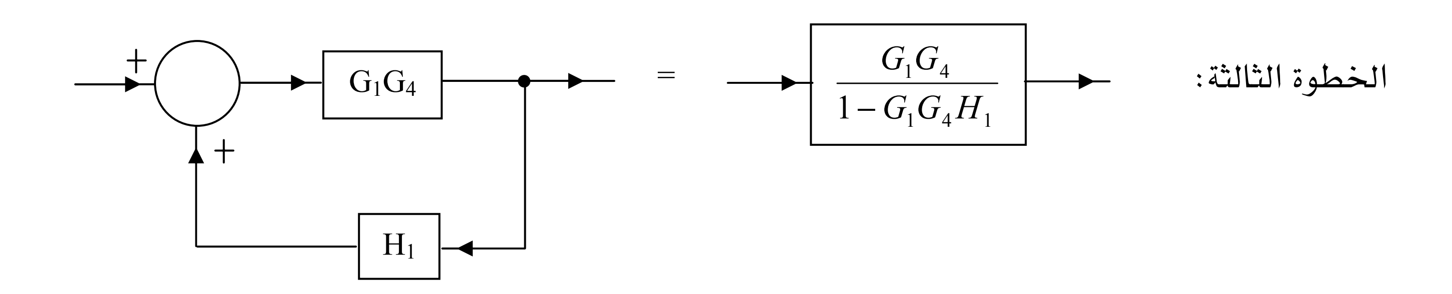


الحل:

الخطوة الأولى: G_1G4 = G_1 G_4

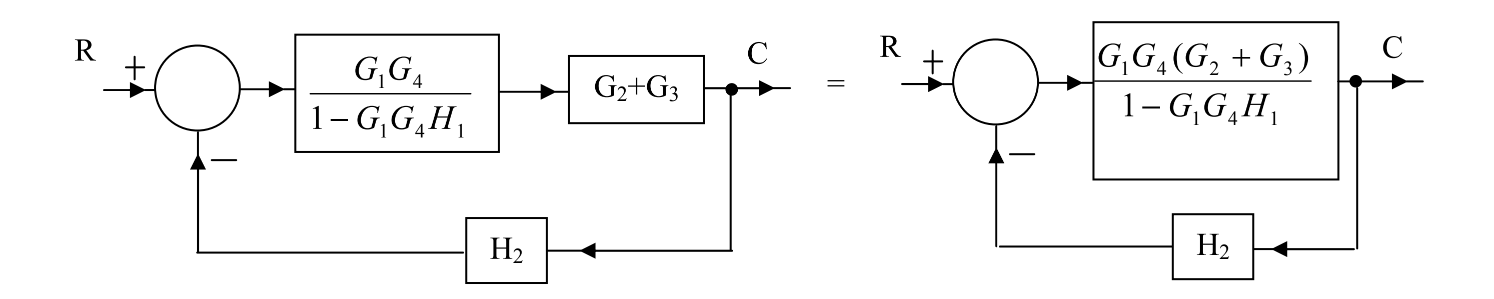
الخطوة الثانية: G_2+G_3 = G_3 + G_2 +

الخطوة الثالثة:

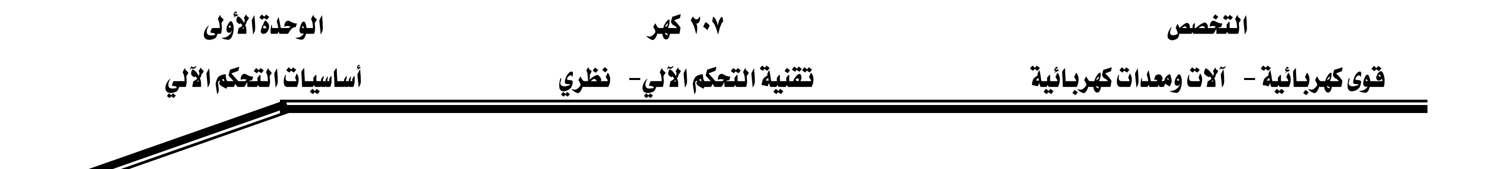


الخطوة الرابعة: غير قابلة للتطبيق

الخطوة الخامسة:

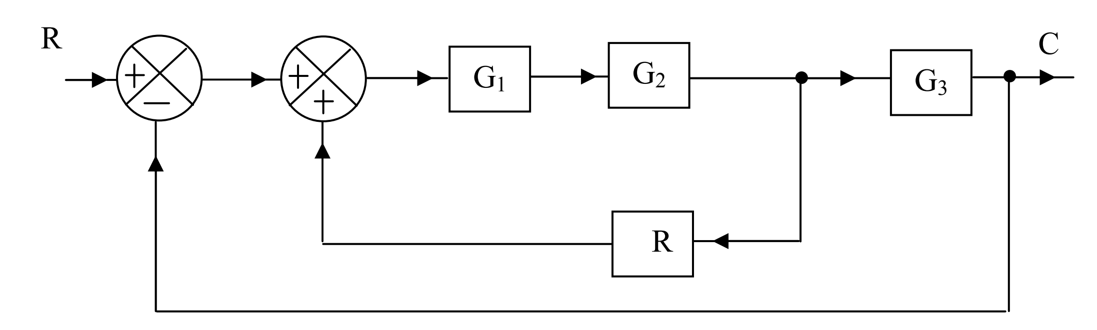


الخطوة السادسة: غير قابلة للتطبيق

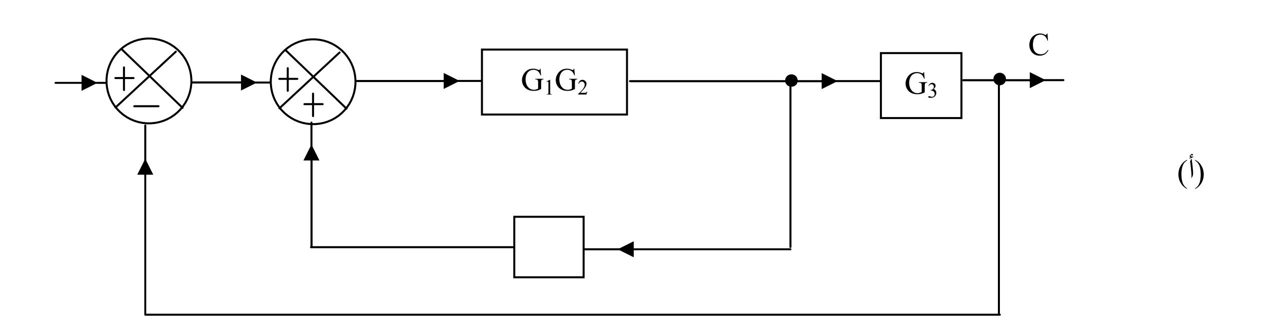


مثال (1-12):

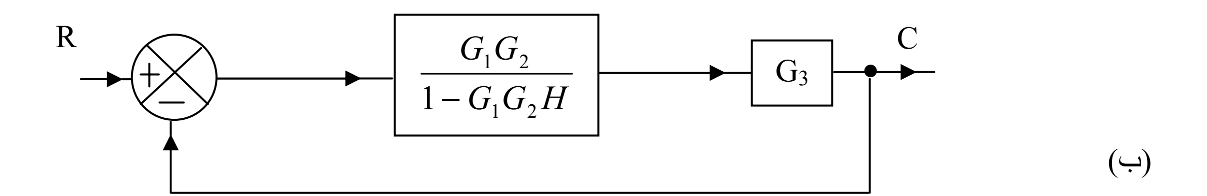
في المخطط الصندوقي المبين احسب العلاقة بين R ، C باستخدام قواعد التبسيط والاختصار لأبسط صورة.



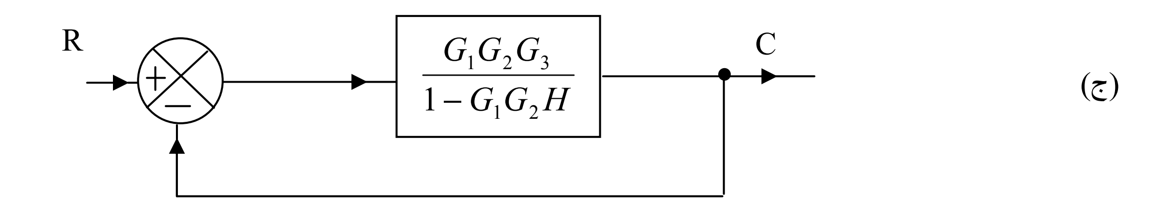
الحل:



(أ)



(ب)



(ج)

(د)

$$\frac{G_1G_2G_3}{1-G_1G_2H+G_1G_2G_3}$$

وقد تم الحصول على الشكل (د) من الشكل (ج) كالتالي:

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{\frac{G_1G_2G_3}{1-G_1G_2H}}{1+\frac{G_1G_2G_3}{1-G_1G_2H}}$$

بضرب البسط والمقام في ($1-G_1G_2H$) نجد أن:

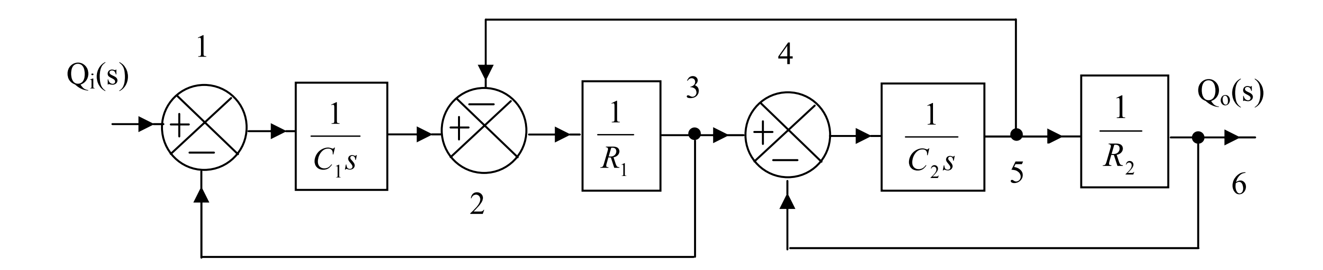
$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G_1G_2G_3}{1+G_1G_2H+G_1G_2G_3}$$

مثال (1-13):

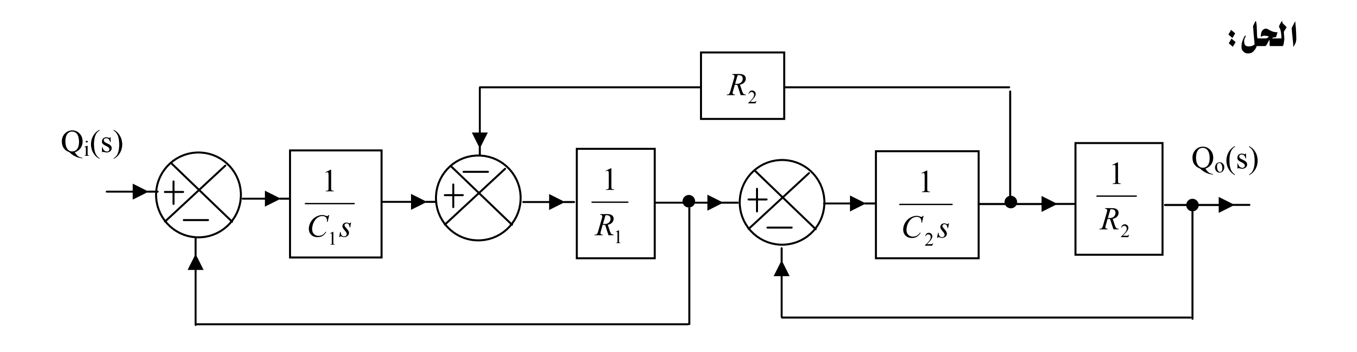
يبين المخطط الصندوقي لنظام تحكم ذي تغذية خلفية. اختصر هذا المخطط إلى أبسط صورة.

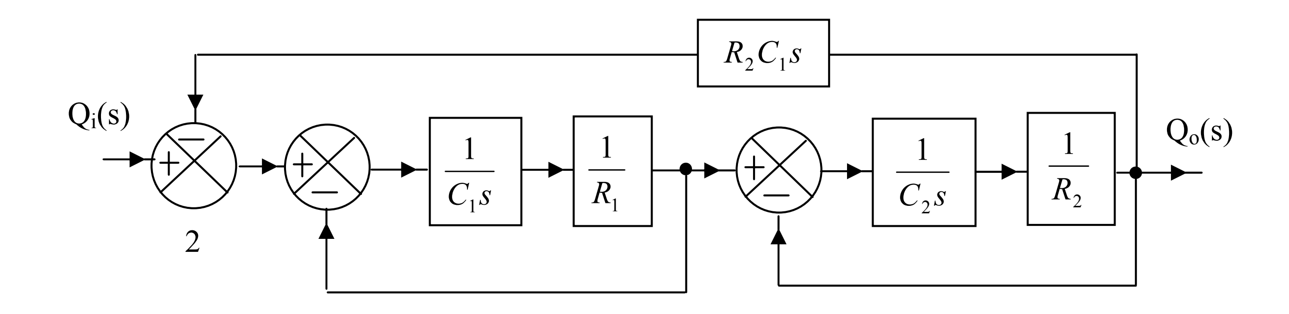
مثال (1-14):

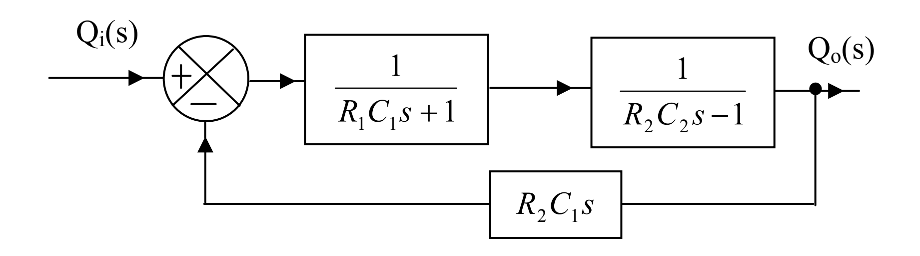
اختصر المخطط المبين في الشكل إلى أبسط صورة.

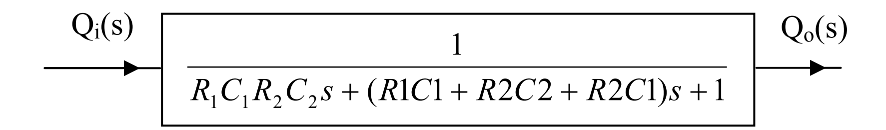


الحل:



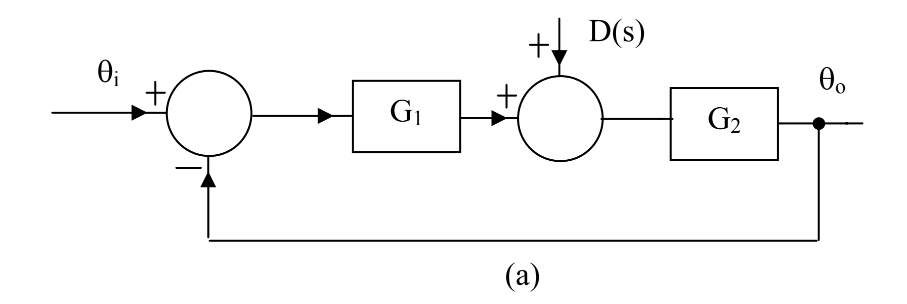






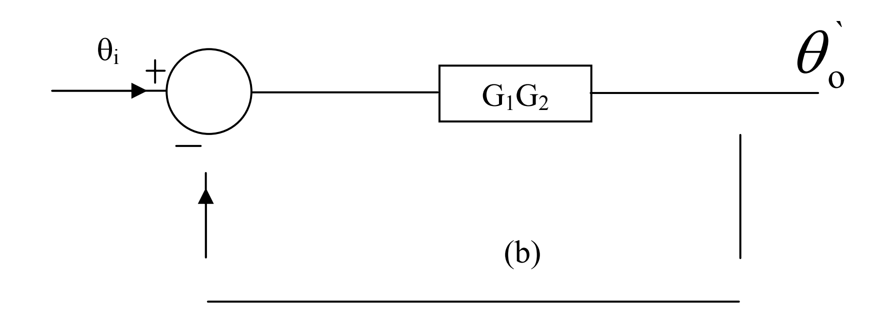
مثال(1-15):

اختصر المخطط المبين بالشكل التالي إلى أبسط صورة ثم احسب دالة التحول.

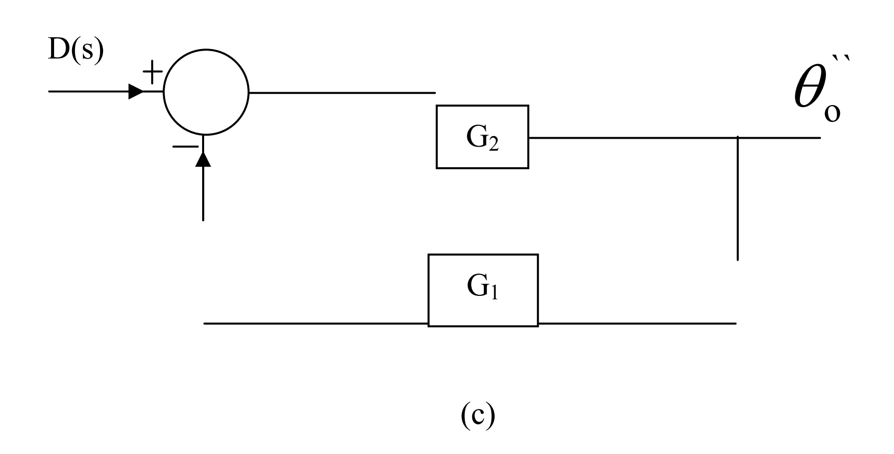


(a)

الحل:



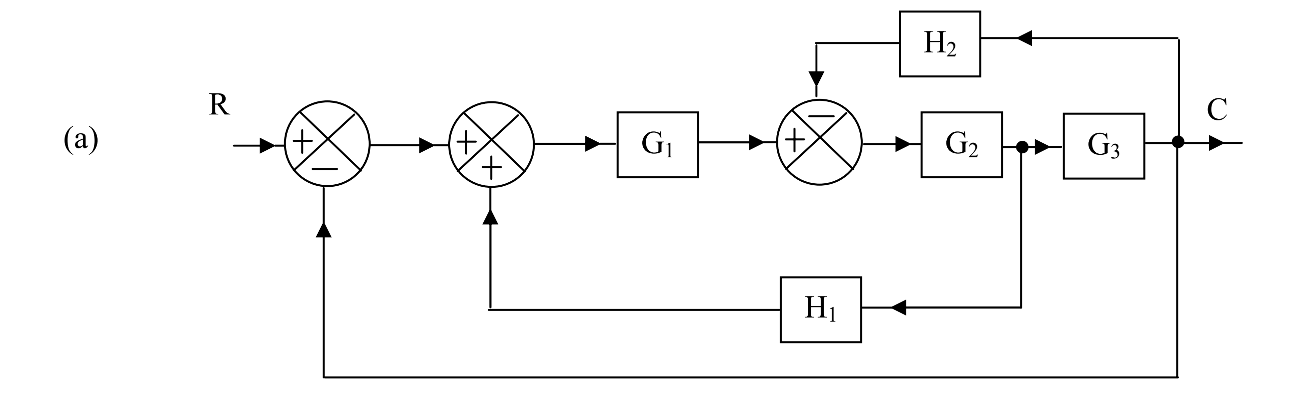
(b)



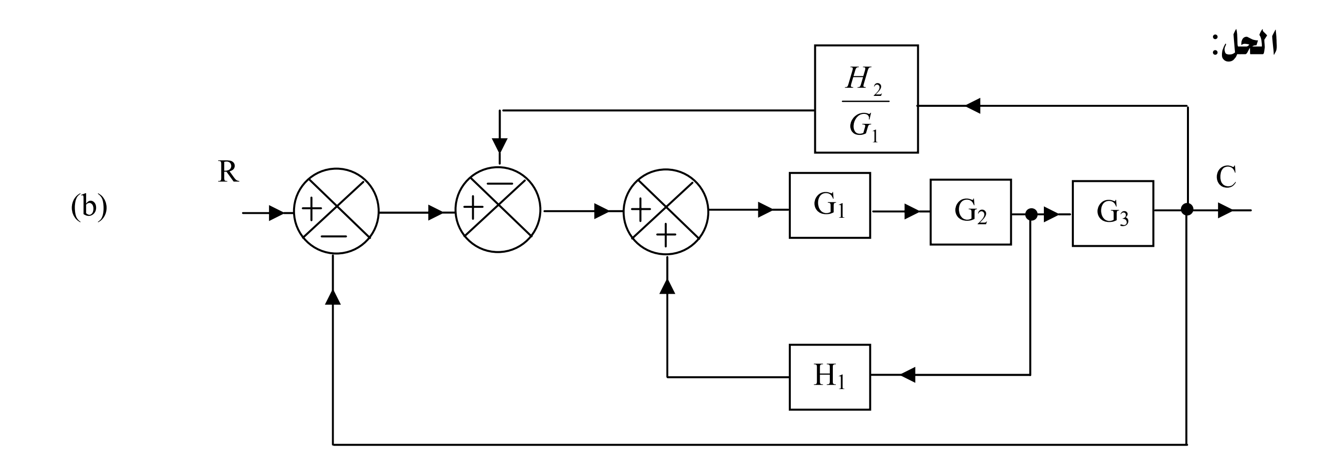
(c)

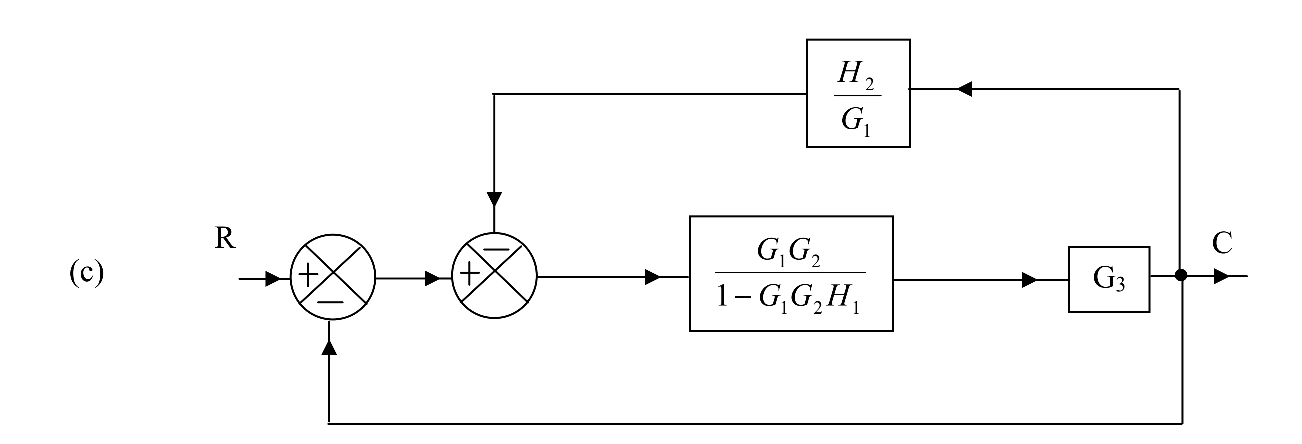
مثال(1-16):

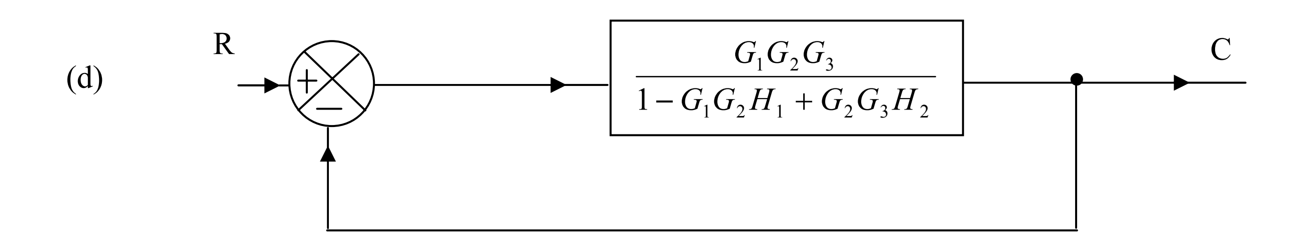
اختصر المخطط المبين في الشكل إلى أبسط صورة ثم احسب دالة التحويل $\frac{C}{R}$.



الحل:







(e)

R → (+ −) → $\frac{G_1G_2G_3}{1-G_1G_2H_1+G_2G_3H_2+G_1G_2G_3}$ → C

تمارين

١- اذكر الأنواع الرئيسة لأنظمة التحكم وما الفرق بينها ؟

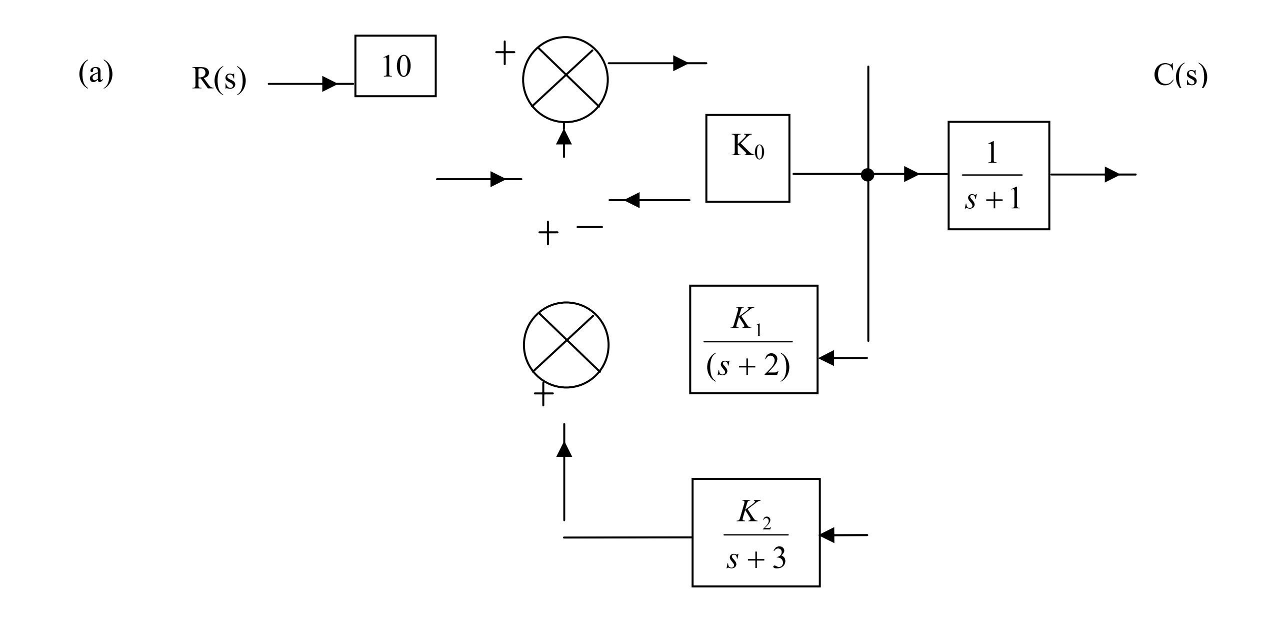
٢- اذكر مميزات وعيوب أنظمة التحكم ذات الدائرة المفتوحة

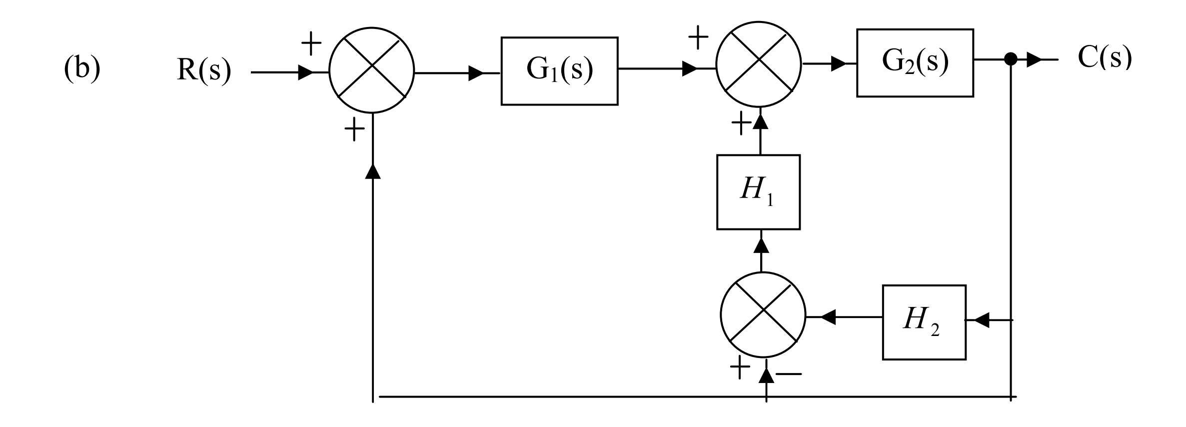
٣- قارن بين أنظمة التحكم ذات الدائرة المفتوحة والمغلقة

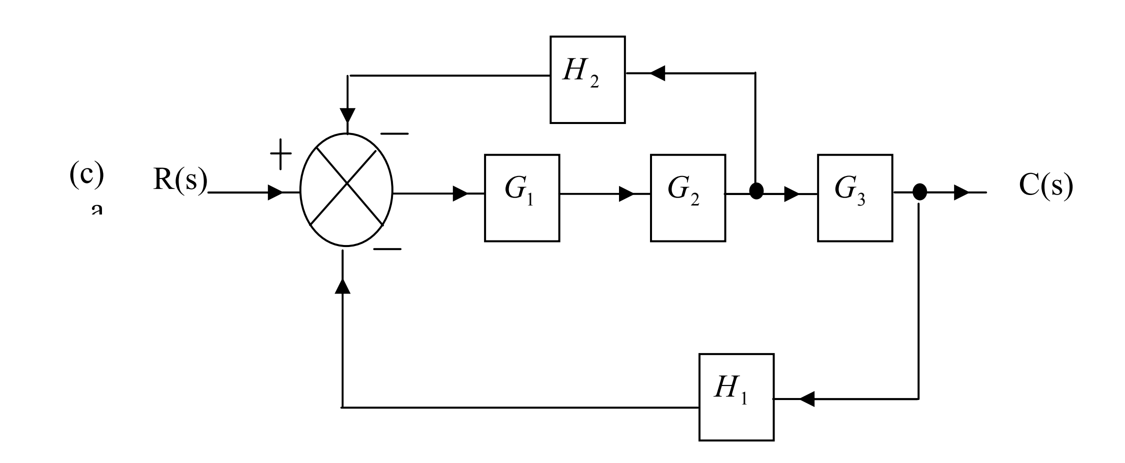
٤- هل نظام التحكم ذو الدائرة المغلقة أكثر دقة من مثيله ذي الدائرة المفتوحة ؟

٥- اذكر أمثلة لأنظمة التحكم ذات الدائرة المفتوحة والمغلقة في الحياة العملية بالمنازل

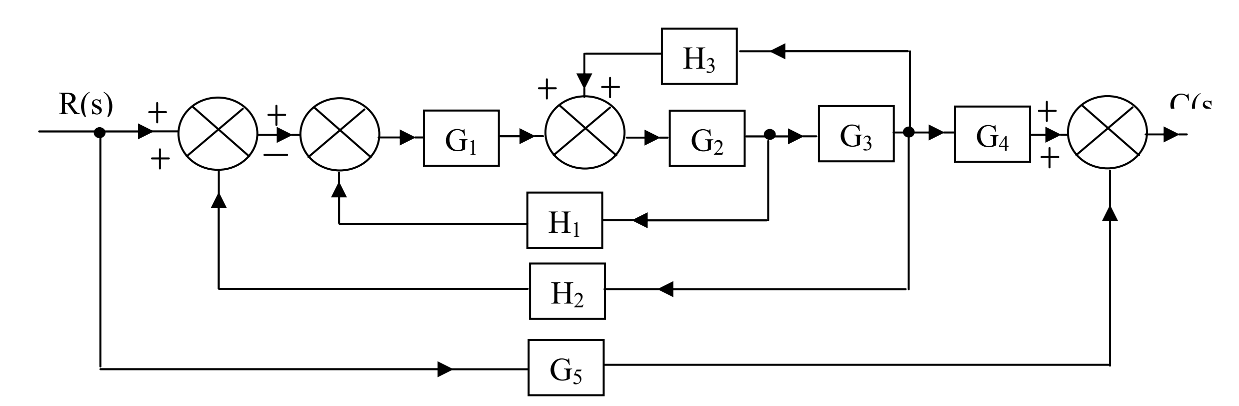
٦- اختصر المخطط الصندوقي التالي إلى أبسط صورة ثم أوجد دالة التحويل.



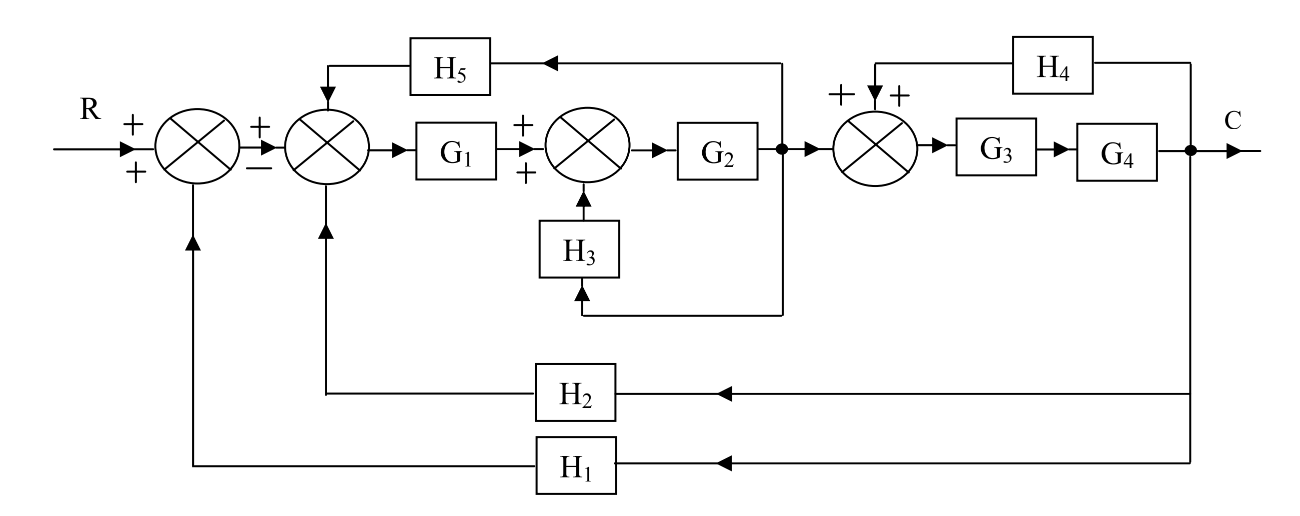




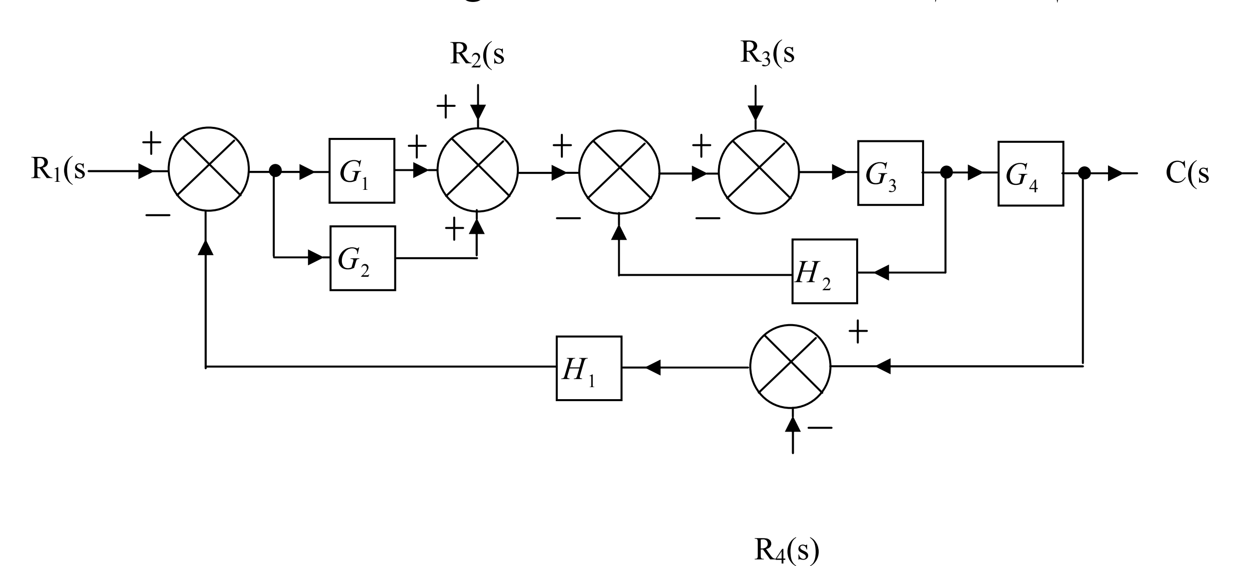
٧- في نظام التحكم ذي التغذية الخلفية المبين بالشكل أوجد دالة التحويل بعد تبسيط المخطط.



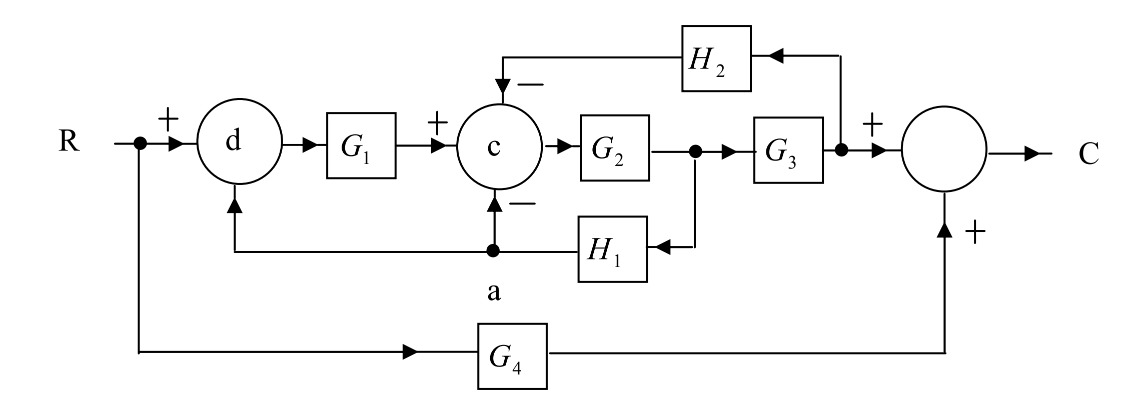
٨- اختصر المخطط الصندوقي التالي ثم احسب $\frac{C(s)}{R(s)}$.



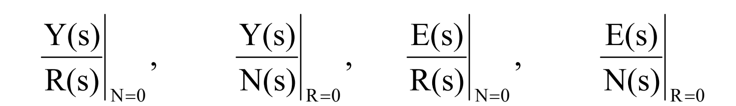
٩- في نظام التحكم متعدد الدخل بالشكل أوجد الخرج C(s).



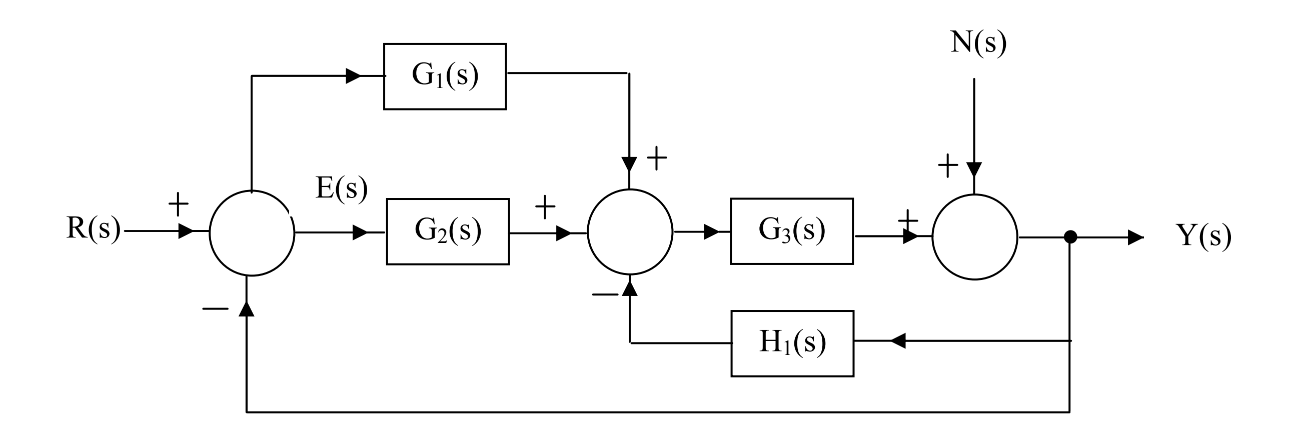
١٠- اختصر المخطط الصندوقي المبين بالشكل إلى مخطط صندوقي ذي دائرة مفتوحة.



١١- ارسم مخطط التدفق للمخطط الصندوقي المبين بالشكل ثم أوجد دوال التحويل الآتية باستخدام قاعدة ماسون:

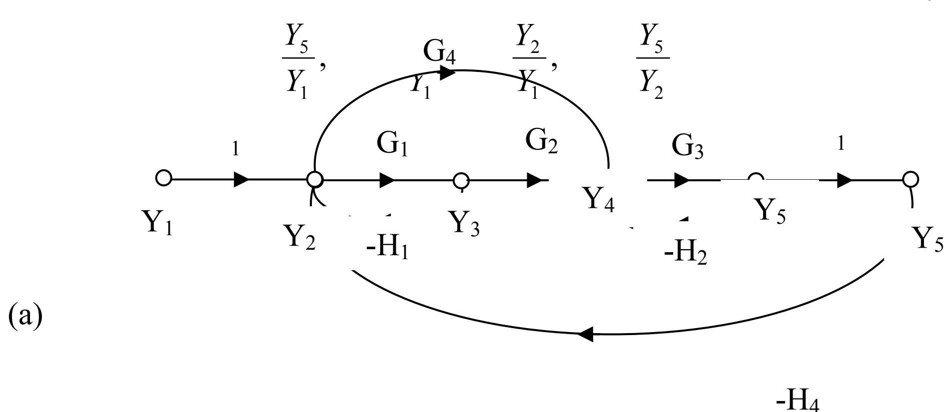


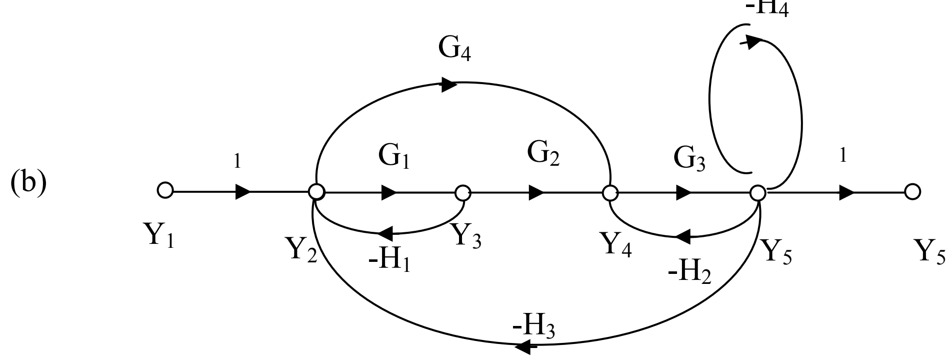
$$\left.\frac{Y(s)}{R(s)}\right|_{N=0}, \quad \left.\frac{Y(s)}{N(s)}\right|_{R=0}, \quad \left.\frac{E(s)}{R(s)}\right|_{N=0}, \quad \left.\frac{E(s)}{N(s)}\right|_{R=0}$$

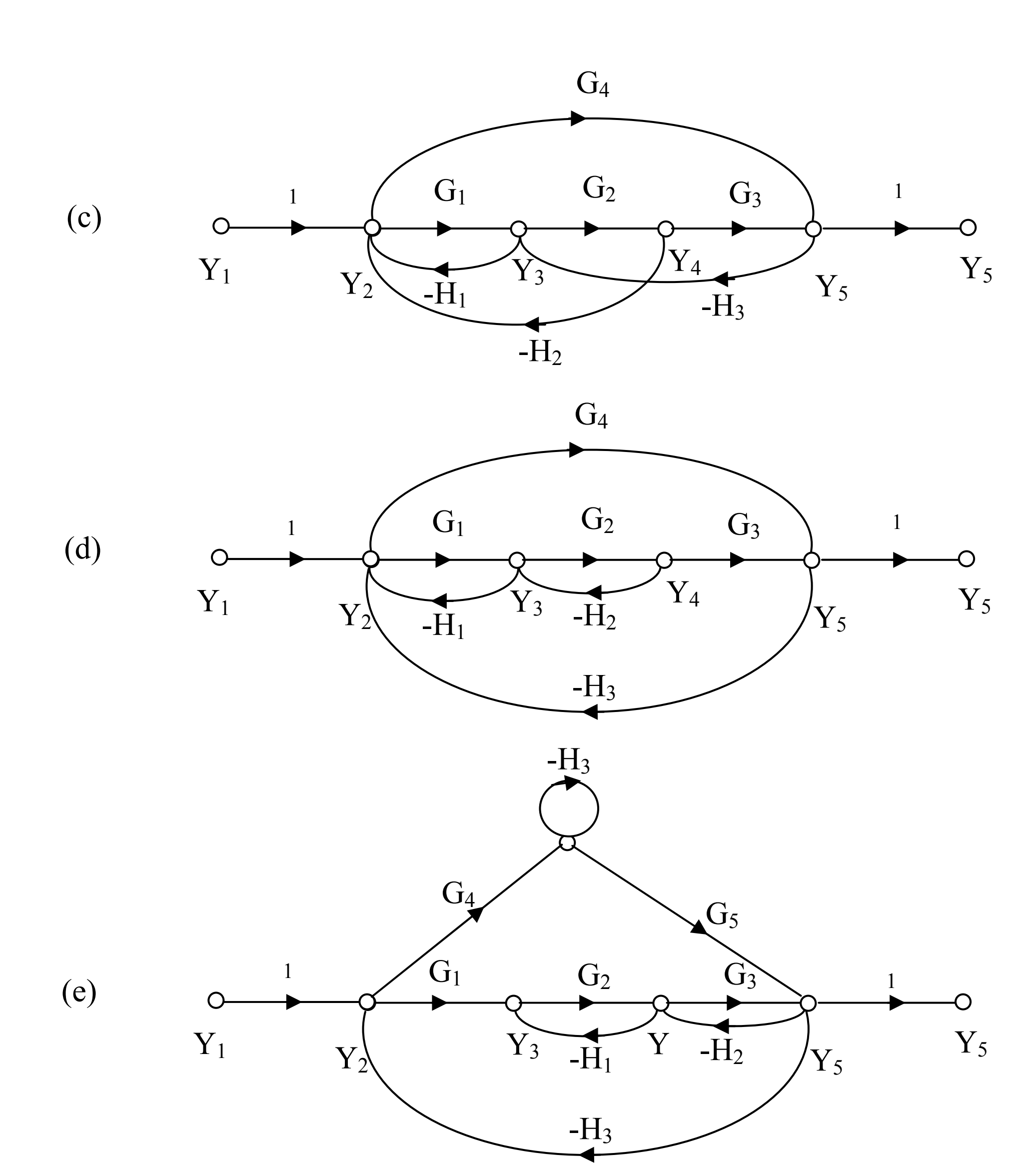


١٢- الشكل التالي يبين عدداً من مخططات التدفق لعدة أنظمة. استخدم قاعدة ماسون لإيجاد دوال التحويل الآتية:

$$\frac{Y_5}{Y_1}, \quad \frac{Y_2}{Y_1}, \quad \frac{Y_5}{Y_2}$$






(c)
G4
G1
G2
G3
1
1
Y1
Y2
Y3
Y4
Y5
Y5
-H1
-H2
-H3
(d)
G4
G1
G2
G3
1
1
Y1
Y2
Y3
Y4
Y5
Y5
-H1
-H2
-H3
(e)
-H3
G4
G5
G1
G2
G3
1
1
Y1
Y2
Y3
Y
Y5
Y5
-H1
-H2
-H3